



**Universidade de  
Aveiro**

Departamento de Ambiente e Ordenamento

**2008**

**Marisol Duarte  
Ruivo**

**Fluxos de Carbono, Energia e Vapor de Água numa  
pastagem Alentejana**

**Marisol Duarte Ruivo** Fluxos de carbono, energia e vapor de água numa  
Pastagem alentejana

**Dissertação apresentada à Universidade de Aveiro para  
cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do  
grau de Mestre em Engenharia do Ambiente, realizada  
sob orientação científica do Prof. Doutor Casimiro Adrião  
Pio, Professor Catedrático da Universidade de Aveiro.**

## o júri

### Presidente

Prof. Dr. Ana Isabel Couto Neto da Silva Miranda

Professora associada do departamento de Ambiente e Ordenamento  
da Universidade de Aveiro

Prof. Dr. Casimiro Adrião Pio

Professor catedrático do departamento de Ambiente e Ordenamento  
da Universidade de Aveiro

Prof. Dr. Manuel Joaquim Sabença Feliciano

Professor equiparado a assistente na Escola Superior Agrária de  
Bragança do Instituto Politécnico de Bragança

# Agradecimentos

Ao Professor Doutor Casimiro Adrião Pio, o orientador, pela oportunidade concedida em realizar este estudo, pela confiança depositada em mim, pelo acompanhamento ensinamentos científicos e por todo o encorajamento que me foi facultado.

Ao Departamento de Ambiente e Ordenamento da Universidade de Aveiro pelo acolhimento e material facultado para a realização deste trabalho.

A todos aqueles que, de alguma forma, contribuíram para a realização deste trabalho, destacando, pedindo desculpa por qualquer esquecimento, os seguintes:

- Doutora Marjan Jongen pelo excelente apoio durante o trabalho;
- A minha família, em particular à minha irmã, pelo apoio e carinho;
- Todos os meus amigos, em particular às Rutes e à Susana pelas palavras de encorajamento e disponibilidade.



# Resumo

Este estudo insere-se no âmbito do projecto CARBOEUROPE, procedendo-se à análise de dados recolhidos numa pastagem Alentejana, relativos aos anos hidrológicos 2006-2007 e 2007-2008, tendo como objectivos a determinação dos fluxos de carbono, energia e vapor de água e o cálculo do balanço de carbono nesta pastagem durante os referidos anos hidrológicos. As medições foram efectuadas usando a técnica da correlação turbulenta.

A pastagem apresentou características intrínsecas de um clima mediterrânico: foram registadas temperaturas do ar baixas no Inverno e elevadas no Verão. As estações de Outono e Primavera foram chuvosas. O ano hidrológico de 2006-2007 foi húmido, normal para o local em questão apresentando valores de precipitação dentro da média. O ano 2007-2008 foi mais seco que o anterior. A variação sazonal dos fluxos de dióxido de carbono, vapor de água e energia seguiu, a variação sazonal da energia disponível no ecossistema ( $R_n$ ) sendo ainda influenciados pelo conteúdo volumétrico de água no solo e do desenvolvimento do coberto vegetal.

A pastagem comporta-se como um sumidouro de carbono em parte dos meses de Inverno e Primavera (período de crescimento das plantas), constatando-se nesse período de tempo os valores mínimos de NEE e os máximos de GPP e  $R_{eco}$ . Nos meses de Outono e Verão a pastagem é uma fonte de carbono.

## PALAVRAS CHAVE:

Pastagem mediterrânica, correlação turbulenta, transferência líquida de carbono, produtividade primária bruta, respiração do ecossistema, produtividade líquida do ecossistema, evapotranspiração, seca.

# Abstract

This study is part of the CARBOEUROPE project, and analyzes the data collected in a pasture in the Alentejo, for the hydrological years of 2006-2008. The objectives of this study are the determination of the fluxes of carbon, energy and water vapour, and the calculation of the carbon balance in this pasture during these hydrological years. The fluxes were measured using an eddy covariance system.

The pasture had intrinsic characteristics of a Mediterranean climate with mild winters and hot summers, with most of the precipitation confined to the spring and autumn (particularly the autumn). Precipitation in the hydrological year of 2006-2007 was normal, with values around the long-term average. The hydrological year of 2007-2008 was drier than the previous year. The seasonal variation in the pattern of carbon dioxide, water vapour and energy followed the seasonal variation of available energy in the ecosystem ( $R_n$ ). However, carbon fluxes are influenced by the volume of water in the soil and the development of vegetation.

The pasture behaves as a carbon sink during the months of winter and spring (period of plant growth). In that period minimum values of NEE and maximum values of GPP and  $R_{eco}$  are found. However, in the summer and autumn months the pasture is a source of carbon.

## KEYWORDS:

Mediterranean grassland, eddy covariance, net ecosystem carbon exchange, gross primary production, ecosystem respiration, net ecosystem production, evapotranspiration, drought.

# Índice

Palavras Chave: .....	iv
KeyWords: .....	v
<b>ÍNDICE DE FIGURAS .....</b>	<b>VII</b>
<b>ÍNDICE DE GRÁFICOS .....</b>	<b>VIII</b>
<b>ÍNDICE DE TABELAS .....</b>	<b>X</b>
<b>SIMBOLOS E ABREVIATURAS.....</b>	<b>XI</b>
Abreviaturas.....	xi
Símbolos.....	xii
<b>1. PREÂMBULO .....</b>	<b>1</b>
<b>2. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>3</b>
2.1 A atmosfera .....	3
2.2 Fluxos de energia .....	5
2.3 Fluxo de dióxido de carbono.....	9
2.4 Medição dos fluxos .....	14
<b>3. MATERIAIS E MÉTODOS.....</b>	<b>24</b>
3.1 Caracterização da área de estudo.....	24
3.2 Caracterização geomorfológica .....	24
3.3 Clima .....	24
3.4 Caracterização do meio envolvente.....	25
3.5 Estação de amostragem.....	27
<b>4 TRATAMENTO DE DADOS .....</b>	<b>31</b>
4.1 Aquisição de dados da biomassa .....	31
4.2 Processamento da informação da estação de amostragem.....	31
4.3 Metodologias de cálculos realizados.....	34
<b>5. RESULTADOS.....</b>	<b>37</b>
5.1. A qualidade dos dados obtidos.....	37
5.2 Condições meteorológicas .....	41
5.3. Vegetação .....	49
5.4 Variação inter-anual e sazonal da transferência de energia e vapor de água.....	52
5.5 Variação inter-anual e sazonal da transferência de dióxido de carbono.....	61
<b>6.CONCLUSÕES.....</b>	<b>71</b>
<b>7. BIBLIOGRAFIA.....</b>	<b>73</b>

# Índice de Figuras

Figura 1: A troposfera e seus componentes (Stull; 1988) .....	3
Figura 2: Desenvolvimento da camada limite da atmosfera (Stull; 1988) .....	4
Figura 3: Balanço da radiação (Adaptado de Arya; 1998) .....	6
Figura 4: A fotossíntese (Da Silva; 2004) .....	10
Figura 5: Estrutura de um cloroplasto .....	10
Figura 6: Metabolização do piruvato. ....	11
Figura 7: Estrada particular de acesso à estação de amostragem. ....	24
Figura 8: Localização da estação de amostragem (Adaptado de Aires; 2007) .....	24
Figura 9: Vista Noroeste – ao fundo sobreiros e campo milho.....	25
Figura 10: Vista Nordeste – ao fundo fila de eucaliptos a Nordeste da estação meteorológica .....	25
Figura 11: Aspecto do solo das marcas deixadas pelo arado.....	26
Figura 12: <i>Chamaemelum fuscatum</i> .....	26
Figura 13: <i>Lupinus luteus</i> .....	26
Figura 14: Promenor da estação de amostragem.....	27
Figura 15: Representação esquemática do equipamento que compõe a estação de amostragem [sistema de correlação turbulenta (A), o sistema meteorológico (B) e o sistema de aquisição de dados (C)] .....	28
Figura 16: Tratamento dos dados.....	31
Figura 17: <i>Leontodon taraxacoides</i> .....	49
Figura 18: <i>Cynodon dactylon</i> (planta com flores brancas e ramos pequeninos).....	49

# Índice de Gráficos

Gráfico 1: Avaliação do fecho do balanço de energia para o ano 2006-2007 .....	38
Gráfico 2: Avaliação do fecho do balanço de energia para o ano 2007-2008 .....	38
Gráfico 3: Picos de “footprint” (baseados nos dados dos dois anos hidrológicos).....	40
Gráfico 4: Distancias “fetch” (baseados nos dados dos dois anos hidrológicos) .....	41
Gráfico 5: Temperaturas médias diárias do ano hidrológico 2006-2007 .....	42
Gráfico 6: Temperaturas médias diárias do ano hidrológico 2007-2008 .....	43
Gráfico 7: Comparação dos perfis de temperaturas (médias diárias) para os dois anos hidrológicos, registadas na pastagem .....	43
Gráfico 8: Perfil de temperaturas médias diárias registadas desde o início de funcionamento da estação. ....	43
Gráfico 9 Temperaturas mínimas e máximas verificadas nos anos hidrológicos 2006- 2008 ..	44
Gráfico 10: Humidade relativa do ar registada nos anos hidrológicos em estudo.....	44
Gráfico 11: Temperatura média diária registada no solo a diferentes profundidades para os dois anos hidrológicos.....	45
Gráfico 12: Conteúdo volumétrico de água no solo a diferentes profundidades.....	46
Gráfico 13: Precipitação diária ocorrida nos anos hidrológicos de 2006-2007 e 2007-2008. ....	47
Gráfico 14: Precipitação mensal verificada desde Outubro de 2006 a Setembro de 2008 ..	47
Gráfico 15: Precipitação mensal registada da pastagem desde Outubro de 2004 até Setembro de 2008 .....	47
Gráfico 16: Comparação mensal da ocorrência de precipitação desde Outubro de 2004 até Setembro de 2008 .....	48
Gráfico 17: Distribuição anual das frequências da direcção do vento nos anos hidrológicos de 2006-2008 .....	48
Gráfico 18: Biomassa Aérea (AGB) registada desde outubro 2005 até Setembro de 2008 ..	51
Gráfico 19: Índice de Área Foliar (IAF) registado desde outubro 2005 até Setembro de 2008 .....	51
Gráfico 20 : Proporção de matéria morta observada na pastagem desde o ano hidrológico 2005-2006 até 2007-2008 .....	52
Gráfico 21: Balanço da radiação ( $R_n$ ) nos anos 2006-2007 e 2007-2008 (valores médios diários) .....	53

Gráfico 22: Fluxo de calor no solo (G) registado nos 2 anos hidrológicos (valores médios diários) .....	53
Gráfico 23: Fluxos de calor latente e sensível registados nos 2 anos hidrológicos (valores médios diários) .....	54
Gráfico 24: Evapotranspiração (média) diária nos anos hidrológicos 2006-2007 e 2007-2008 .....	58
Gráfico 25: Evapotranspiração e evapotranspiração potencial (valores médios diários) registadas de Outubro de 2006 a Setembro de 2008.....	58
Gráfico 26: Valores acumulativos de evapotranspiração e precipitação total.....	59
Gráfico 27: Relação entre a condutância e o défice de pressão de vapor.....	59
Gráfico 28: Factores de desacoplamento registados nos dois anos hidrológicos.....	60
Gráfico 29: Variação das componentes do balanço de carbono no ano hidrológico em estudo .....	61
Gráfico 30: Comparação do NEE, $R_{eco}$ e GPP nos anos hidrológicos do estudo .....	62
Gráfico 31: Padrão comportamental das variáveis do balanço de carbono de Outubro de 2004 até Setembro de 2008 .....	62
Gráfico 32: Valores acumulados das várias parcelas do balanço de carbono de Outubro de 2004 até Setembro de 2008 .....	63
Gráfico 33: Eficiência do uso da radiação.....	65
Gráfico 34: Eficiência do uso da água.....	65
Gráfico 35: Variação das curvas de resposta à radiação fotossintética, em diferentes periodos nos anos hidrológicos 2006-2007 e 2007-2008.....	67
Gráfico 36: Relação entre o fluxo de carbono nocturno e a temperatura registada a 2 cm de profundidade para 2006-2007 (A) e 2007-2008 (B). Os coeficiente de correlação encontram-se na Tabela 15.....	69

# Índice de Tabelas

Tabela 1: Parâmetros para o cálculo (Foken; 1996).....	18
Tabela 2: Caracterização da classe de qualidade dos dados .....	19
Tabela 3: Instrumentação utilizada (Adaptado de Aires; 2007) .....	29
Tabela 4: Filtros aplicados (Adaptado de Aires; 2007).....	33
Tabela 5: Classes de qualidades dos dados.....	37
Tabela 6: Dados rejeitados nos dois anos hidrológicos.....	37
Tabela 7: Classes de estabilidade atmosférica .....	39
Tabela 8: Dados obtidos, agrupados de acordo com a classe de estabilidade atmosférica....	40
Tabela 9: Ciclo de vida da vegetação da pastagem para os anos hidrológicos em estudo ....	41
Tabela 10: Composição florística da pastagem.....	50
Tabela 11: Alguns parâmetros analisados durante o estudo .....	55
Tabela 12: Relação entre a PPT, $\theta_v$ , GPP $R_{eco}$ e NEE nos diferentes períodos do ciclo de vida das plantas, para os anos hidrológicos de 2006-2007 e 2007-2008 .....	63
Tabela 13: Relação entre a PPT, $\theta_v$ , GPP $R_{eco}$ e NEE nos diferentes períodos do ciclo de vida das plantas desde 2004-2005 até 2007-2008 ( totais anuais: PPT, GPP, $R_{eco}$ e NEE; valores médios: $\theta_v$ a 15 cm).....	64
Tabela 14: Parâmetros das curvas de resposta da vegetação à radiação fotossintética, IAF e conteúdo volumétrico de água no solo a 15 cm de profundidade .....	68
Tabela 15: Conteúdo volumétrico de água no solo a 15 cm de profundidade, parâmetros das curvas do Gráfico 36 e $Q_{10}$ calculado para os mesmos periodos.....	70

# Simbolos e Abreviaturas

## ABREVIATURAS

CCF	contribuição cumulativa para o fluxo total medido	%
CLA	camada limite da atmosfera	-
CLC	camada limite convectiva	-
CLE	camada limite estável	-
CR	camada residual	-
CWC	correção para o vento cruzado	-
GPP	produtividade bruta do ecossistema	$\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ou g C m <sup>-2</sup> período
HR	humidade relativa do ar	%
IAF	Índice de área foliar	-
NEE	transferência líquida de dióxido de carbono entre o ecossistema e a atmosfera, ou fluxo de dióxido de carbono	$\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ou g C m <sup>-2</sup> período
NEP	produtividade líquida do ecossistema	$\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ou g C m <sup>-2</sup> período
PPFD ou PAR	radiação fotossinteticamente activa	$\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$
PPFDd	radiação fotossinteticamente activa difusa	$\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$
PPT	precipitação	mm
$R_{\text{eco}}$	respiração do ecossistema	$\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ou g C m <sup>-2</sup> período
WUE	eficiência do uso da água	mmol mol <sup>-1</sup>
LUE	eficiência do uso da radiação fotossinteticamente activa incidente	mmol mol <sup>-1</sup>



## SIMBOLOS

$a$	determinado escalar	-
$a'$	flutuação de um determinado escalar	-
$\bar{a}$	média de um determinado escalar	-
$A$	albedo	-
$c$	concentração de dióxido de carbono	$\text{mmol m}^{-3}$
$c'$	flutuação da concentração de dióxido de carbono	$\text{mmol m}^{-3}$
$\bar{c}$	concentração média de dióxido de carbono	$\text{mmol m}^{-3}$
$C_p$	capacidade calorífica do ar	$\text{J kg}^{-1} \text{K}^{-1}$
$\text{CH}_4$	metano	-
$\text{CO}_2$	dióxido de carbono	-
$d$	deslocamento do plano zero	m
$D$	défice de pressão de vapor do ar	kPa
$E$	fluxo de vapor de água	$\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ou $\text{mm período}^{-1}$
$E_{\text{eq}}$	evapotranspiração de equilíbrio	$\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ou $\text{mm período}^{-1}$
$E_p$	evapotranspiração potencial	$\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ou $\text{mm período}^{-1}$
$E_0$	energia de activação ou parâmetro de sensibilidade à temperatura	K
$F_z$	fluxo médio	-
$F_{zi}$	fluxo, ou transporte vertical, instantâneo	-
$G$	fluxo de calor no solo	$\text{W m}^{-2}$ ou $\text{MJ m}^{-2} \text{período}^{-1}$
$g_a$	condutância aerodinâmica	$\text{m s}^{-1}$
$g_s$	condutância da superfície	$\text{m s}^{-1}$

$H$	fluxo de calor sensível	$\text{W m}^{-2}$ ou $\text{MJ m}^{-2} \text{ período}^{-1}$
$\text{H}_2\text{O}$	água	-
$k$	constante de <i>von Kármán</i>	-
$L$	comprimento e <i>Monin-Obukhov</i>	m
$L_i$	radiação infravermelha incidente	$\text{W m}^{-2}$
$L_t$	radiação infravermelha terrestre	$\text{W m}^{-2}$
$L^*$	balanço de radiação de grande comprimento de onda	$\text{W m}^{-2}$
$Q$	outras fontes ou sumidouros de energia na superfície	$\text{W m}^{-2}$
$Q_{10}$	coeficiente de sensibilidade do $R_{\text{eco}}$ à temperatura do solo	-
$r_a$	resistência aerodinâmica	$\text{s m}^{-1}$
$r_s$	resistência da superfície	$\text{s m}^{-1}$
$R_n$	balanço de radiação ou de energia na superfície	$\text{W m}^{-2}$
$R_{\text{ref}}$	respiração do ecossistema a uma temperatura de referência	$\mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$
$R_s$	radiação solar incidente	$\text{W m}^{-2}$
$R_{\text{sr}}$	radiação solar reflectida pela superfície	$\text{W m}^{-2}$
$R_s^*$	balanço da radiação de solar ou de pequeno comprimento de onda	$\text{W m}^{-2}$
$S_a$	variação do armazenamento de energia na vegetação	$\text{W m}^{-2}$
$T$	temperatura do ar	$^{\circ}\text{C}$
$T'$	flutuação da temperatura do ar	$^{\circ}\text{C}$
$\bar{T}$	temperatura média do ar	$^{\circ}\text{C}$
$T_{\text{max}}$	temperatura máxima do ar	$^{\circ}\text{C}$
$T_{\text{min}}$	temperatura mínima do ar	$^{\circ}\text{C}$
$T_{\text{ref}}$	temperatura de referência	K

$T_s$	temperatura do solo	°C
$T_{sonica}$	temperatura sónica	K
$T'_{sonica}$	flutuação da temperatura sónica	K
$T_v$	temperatura virtual	K
$u$	componente horizontal da velocidade do vento	m s <sup>-1</sup>
$u'$	flutuação da velocidade do vento horizontal	m s <sup>-1</sup>
$\bar{u}$	média da componente horizontal da velocidade do vento	m s <sup>-1</sup>
$u_*$	velocidade de fricção	m s <sup>-1</sup>
$U$	velocidade média do vento entre a superfície e a altura de observação	m s <sup>-1</sup>
$v$	componente lateral da velocidade do vento	m s <sup>-1</sup>
$\bar{v}$	média da componente lateral da velocidade do vento	m s <sup>-1</sup>
$w$	componente vertical da velocidade do vento	m s <sup>-1</sup>
$w'$	flutuação da velocidade do vento vertical	m s <sup>-1</sup>
$\bar{w}$	média da componente vertical da velocidade do vento	m s <sup>-1</sup>
$x'$	flutuação de uma determinada componente da velocidade do vento	m s <sup>-1</sup>
$\bar{x}$	média de uma determinada componente da velocidade do vento	m s <sup>-1</sup>
$x_{max}$	pico de <i>footprint</i>	m
$z$	altura de medição	m
$z_0$	comprimento de rugosidade	m
$\beta$	razão de Bowen	-
$\rho$	massa volúmica do ar seco	kg m <sup>-3</sup>
$\rho_v$	concentração de vapor de água	mmol m <sup>-3</sup>
$\rho'_v$	flutuação da concentração de vapor de água	mmol m <sup>-3</sup>
$\theta_v$	conteúdo volumétrico de água no solo	m <sup>3</sup> m <sup>-3</sup>

$\lambda$ ou $L$	calor latente de vaporização da água	$\text{J kg}^{-1}$
$\lambda E$ ou $LE$	fluxo de calor latente	$\text{W m}^{-2}$ ou $\text{MJ m}^{-2} \text{ período}^{-1}$
$\gamma$	constante psicométrica	$\text{kPa K}^{-1}$
$\Delta$	taxa de alteração da pressão de vapor de saturação com a temperatura	$\text{kPa K}^{-1}$
$\Omega$	coeficiente de desacoplamento	-
$\tau$	fluxo de momento	$\text{kg m}^{-1} \text{ s}^{-2}$

# 1. Preâmbulo

A Humanidade é apenas uma das dez milhões de espécies que habitam o planeta Terra, contudo é o resultado das actividades humanas que está a provocar os impactos mais devastadores no planeta. Actualmente consomem-se, aproximadamente 40% dos recursos naturais (agricultura, indústrias) e 55% da água potável do planeta. Estes impactos têm-se vindo a agravar, nomeadamente após a Revolução Industrial, em prol do aumento da população humana, que quase quadruplicou desde então, em parte devido à queima massiva dos combustíveis fósseis, por fontes antropogénicas, e consequente libertação de efluentes gasosos, que em muito contribuíram para que a composição da atmosfera foi substancialmente alterada. Estima-se que a concentração de CO<sub>2</sub> na atmosfera é, presentemente, 30% superior, comparativamente à do ano de 1860 (Bierbaum; 2005). Como consequência, surgem os problemas associados ao efeito de estufa, para o qual o CO<sub>2</sub> é o gás que mais contribui. Desta forma, os ciclos globais estão a mudar, a temperatura global a subir e os efeitos já se fazem sentir em todos os contextos e aos mais diversos níveis, independentemente do grau de desenvolvimento de uma nação: secas, inundações e catástrofes naturais que apresentavam um período de retorno bastante elevado são cada vez mais frequentes e são alguns dos exemplos com os quais a população mundial se vê confrontada presentemente. Assim, torna-se imperativo abrandar a depleção de recursos e a poluição provocada por fontes antropogénicas, para que as gerações vindouras tenham assegurado os meios e recursos precisos para satisfazerem as suas necessidades básicas.

A primeira tentativa de caminhar para o desenvolvimento sustentável surge na segunda metade do século XX com a Declaração de Estocolmo, que define planos e acções para a preservação da natureza. Desde então, têm-se intensificado esforços das nações para travar a depleção de recursos e poluição subsequentes ao desenvolvimento. Surge, neste âmbito, o Protocolo de Quioto, ratificado em 2002, que visa a redução de gases com efeito estufa a nível global e através do qual se reconhece o papel da floresta como sumidouros e reservatórios de carbono, despontando, assim, questões relacionadas com o balanço terrestre de dióxido de carbono, bem como as quantidades do mesmo sequestrado pelos ecossistemas, fontes e sumidouros e variáveis que afectam o balanço.

A resposta da Europa face a esta falta de informação foi a criação do programa EUROFLUX, o qual foi substituído pelo CARBOEUROPE-IP, cuja a implementação no terreno foi programada para ter início no ano de 2004 e terminará no ano de 2009, prevendo-se, desta forma, uma

duração de cinco anos. Este projecto tem como objectivos estratégicos a compreensão e quantificação do balanço do carbono terrestre na Europa e a incerteza associada às escalas local regional e continental. Visando alcançar os objectivos anteriormente expostos o projecto foi dividido em quatro componentes: A componente “Ecosistemas”, que engloba as edições a nível dos ecossistemas; A componente “Atmosfera”, que visa as medições à escala continental de modo preciso; A componente “Experiencia Regional” vocacionada para atenuar as incertezas da escala; e a componente “Integração Continental” responsável por integrar os vários conjuntos de dados obtidos, de modo a monitorizar e compreender o balanço de carbono na Europa.

De todos os países do continente europeu, apenas dezassete participam neste projecto, incluindo-se, entre eles, Portugal. A participação portuguesa limita-se à primeira componente do projecto, com o estudo do balanço de carbono em dois ecossistemas tipicamente mediterrâneos: um montado e uma pastagem alentejana, estando ambos situados na cidade de Évora. Os Intervenientes responsáveis pela gestão dessa informação são a Universidade Técnica de Lisboa, Instituto Superior de Agronomia e Universidade de Aveiro.

## 2. Introdução

### 2.1 A ATMOSFERA

A atmosfera terrestre é constituída, maioritariamente, por Azoto (78%), Oxigénio (21%) e Argon (1%); em termos da sua estrutura térmica vertical, a atmosfera pode ser dividida em quatro zonas distintas: Troposfera (camada mais próxima da superfície terrestre), Estratosfera, Mesosfera, e Termosfera. De acordo com Seinfeld (1997), o vapor de água é o quarto componente mais abundante na atmosfera.

De todas as camadas, a Troposfera (Figura 1), porque se encontra imediatamente a seguir à superfície terrestre, é a camada de maior relevância no que diz respeito às trocas de massa e energia entre a superfície terrestre e a atmosfera. Por outro lado, esta camada tem uma espessura variável, entre 10 a 15 quilómetros de altitude (Seinfeld; 1997), dos quais, os primeiros 100 a 3000 metros (a contar da superfície), assumem uma maior importância, devido à significativa troca de energia e massa que aí ocorrem. Esta fracção da troposfera apelida-se de Camada Limite da Atmosfera (CLA) ou Camada Limite Estável (CLE), consoante o período seja diurno ou nocturno (Stull; 1988).

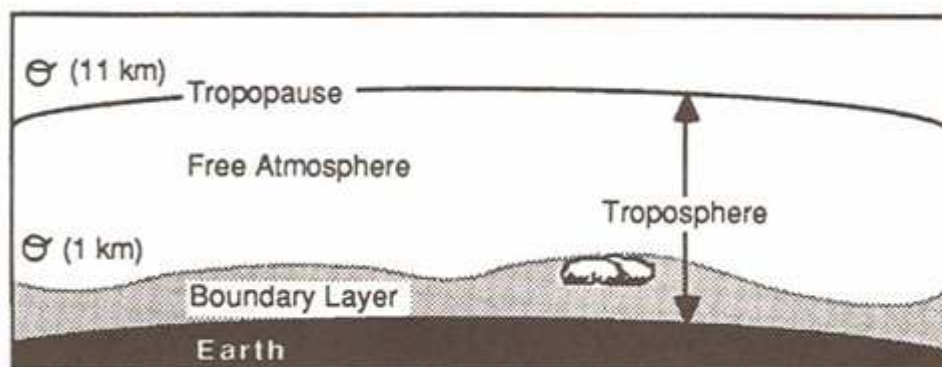


FIGURA 1: A TROPOSFERA E SEUS COMPONENTES (STULL; 1988)

A CLA é caracterizada por movimentos turbulentos que podem ter duração variável (de segundos a minutos), que influenciam as trocas e transporte de energia e massa (Aires; 2007) e pode, ainda, ser diferenciada em duas subcamadas: a Camada Ekman e de Prandtl. Na primeira subcamada o escoamento atmosférico é influenciado pela rugosidade superficial, o gradiente de temperatura e o efeito de Coriolis. Na Camada Prandtl o efeito de Coriolis pode ser desprezado. Junto ao solo existem duas zonas de elevada importância: a de fluxo constante, onde se verifica uma mistura homogénea dos constituintes atmosféricos devido à turbulência de pequena escala ser bem desenvolvida, e a camada laminar onde o escoamento atmosférico é de regime laminar e as trocas entre a superfície e a atmosfera se efectuam por difusão molecular.

As trocas de energia e massa entre a superfície terrestre e a atmosfera podem dar-se tanto verticalmente (em altura) como horizontalmente (paralelamente ao chão) e encontram-se directamente relacionadas com a turbulência existente na atmosfera, na CLA em particular. Deste modo, e enquanto que o transporte de energia e massa na horizontal é influenciado de modo significativo pelo vento médio, o movimento vertical está fundamentalmente associado à turbulência, que pode ser entendida como um conjunto de turbilhões, que podem ter origem mecânica (associada às forças tangenciais) ou térmica (associada ao aquecimento da superfície) (Stull; 1988). A turbulência térmica está directamente associada ao ciclo diário de radiação solar, ou seja, com as trocas de energia entre a atmosfera e a superfície, sendo que a energia disponível na atmosfera é aquela que provém do Sol e chega à Terra. Em virtude deste acontecimento, o desenvolvimento da CLA e as trocas entre esta e a superfície terrestre assumem contornos diferentes, consoante seja de dia ou de noite. De dia existe maior quantidade de radiação a chegar à atmosfera terrestre, logo a turbulência térmica é maior, designando-se, então a CLA por Camada Limite Convectiva (CLV). À noite, a ausência de radiação solar implica a diminuição da turbulência térmica e, conseqüentemente, a CLA torna-se mais estável designando-se por isso de Camada Limite Estável (CLE). O desenvolvimento diário da camada limite da atmosfera pode ser visualizado na Figura 2.

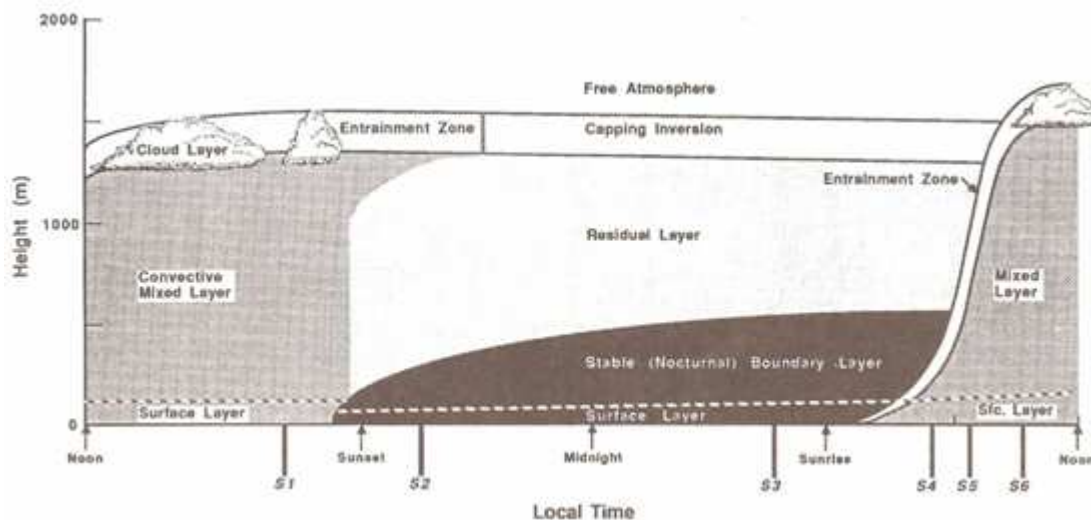


FIGURA 2: DESENVOLVIMENTO DA CAMADA LIMITE DA ATMOSFERA (STULL; 1988)

Matematicamente, a turbulência pode ser descrita como sendo a flutuação de uma determinada componente do vento em relação à sua média (Stull; 1998). Esta flutuação pode ser representada como o desvio instantâneo em relação ao valor médio. Por outro lado, a irregularidade, não linearidade,



dispersão (capacidade de mistura), dissipação (grandes turbilhões que alimentam os pequenos) e a tridimensionalidade (Lyons; 1990) são propriedades importantes da turbulência.

O vento pode ser representado por um vector a 3D, com componentes vertical, horizontal e lateral. Contudo, como a turbulência está relacionada com o transporte vertical, é a componente vertical do vento que é importante considerar. Na camada superficial da CLA, o sentido de transporte na atmosfera (para “baixo” ou para “cima”), de determinado parâmetro depende do seu gradiente vertical, que, por seu turno, é influenciado directamente pela capacidade da superfície terrestre actuar como fonte ou sumidouro desse parâmetro (Aires; 2007). Assim, estudar o transporte vertical de energia e massa na atmosfera é simultaneamente conhecer as várias parcelas dos fluxos de energia e massa, nomeadamente o vapor de água e carbono.

## 2.2 FLUXOS DE ENERGIA

O fluxo de uma certa propriedade numa dada direcção é definido pelo tempo que determinada quantidade dessa mesma propriedade demora a atravessar uma área, ou seja é a quantidade que atravessa a unidade de área perpendicular à direcção, por unidade de tempo.

Assim, as unidades do fluxo de energia são  $Wm^{-2}$  (SI); existem, essencialmente, quatro tipos de fluxos de energia: o fluxo radiativo ( $R_n$ ), que resulta do balanço da radiação solar que chega à Terra; o fluxo de calor sensível ( $H$ ), que surge como consequência da diferença de temperatura entre a superfície terrestre e o ar imediatamente acima; o fluxo de calor latente ( $LE$  ou  $\lambda E$ ), que é resultante da evapotranspiração à superfície e é dado pelo produto do calor latente da evaporação e a taxa de evaporação; e finalmente, o quarto tipo de fluxo é o fluxo de calor no solo ( $G$ ), que está proporcionalmente relacionado com as propriedades físico-químicas do mesmo, nomeadamente, da condutância e conteúdo de água no solo. Os fluxos estão relacionados entre si através da expressão:

$$R_n = H + \lambda E + G + S_a + Q \quad (1)$$

Esta expressão inclui também outras duas variáveis não mencionadas até agora: a variação do armazenamento de energia na vegetação ( $S_a$ ) e outras fontes e sumidouros ( $Q$ ). Contudo, uma vez que estes dois últimos termos não têm uma contribuição significativa em pastagens, de acordo com Aires (2007), podem ser ignorados. De um modo geral o balanço de radiação pode ser ilustrado como mostra a Figura 3.

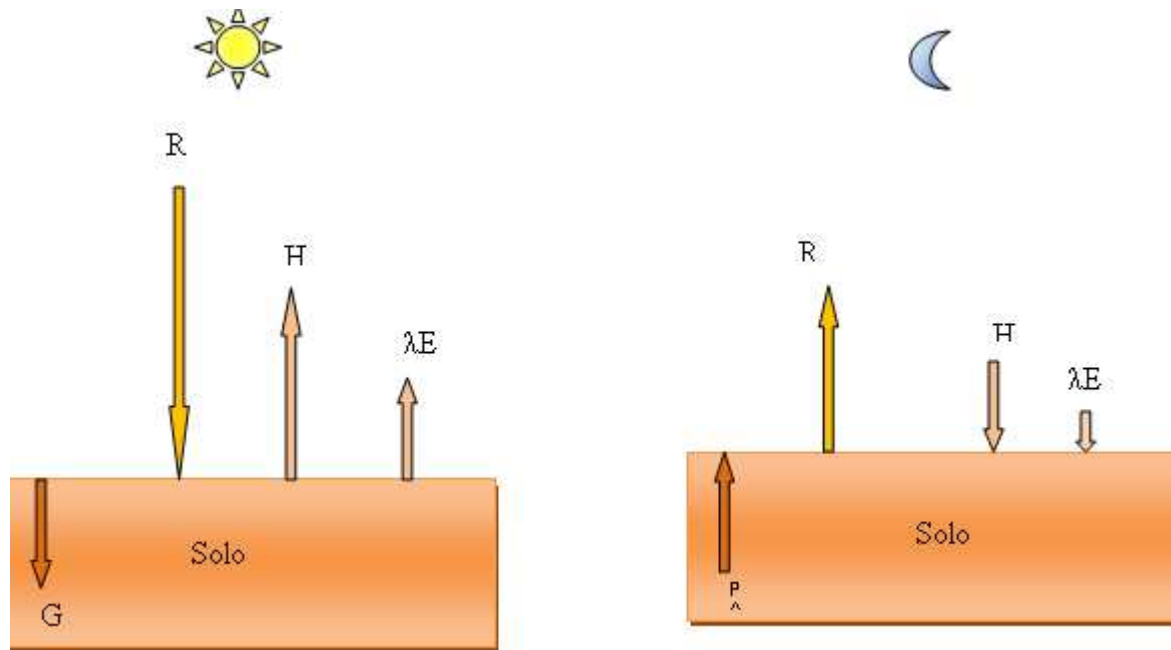


FIGURA 3: BALANÇO DA RADIAÇÃO (ADAPTADO DE ARYA; 1998)

Durante o dia, a energia proveniente do Sol atinge a atmosfera e a superfície da Terra sob forma de radiação, aquecendo-as. Uma vez que atmosfera e solo não atingem as mesmas temperaturas, simultaneamente, gera-se uma diferença de temperatura entre a superfície e a atmosfera. Por um lado, a energia sob forma de calor vai sendo difundida no solo para as camadas mais profundas de solo que estão mais frias que a superfície ( $G$ ). Por outro lado, e à medida que o dia avança a diferença de temperatura entre a superfície terrestre e a atmosfera acima dela, torna-se cada vez maior, originando um outro fenómeno, em que a superfície terrestre transfere parte da energia que recebe (solar) para a atmosfera, “devolvendo-a” ( $H$  e  $\lambda E$ ). À medida que o dia avança no sentido do entardecer, esta circulação de energia vai sendo gradualmente invertida, acontecendo exactamente o oposto durante a noite: a ausência de radiação solar conduz a um rápido arrefecimento da superfície do solo por emissão de radiação infravermelha para o espaço ( $R$ ), provocando a transferência de calor das camadas mais profundas para as mais perto da superfície ( $G$ ). Simultaneamente como a superfície terrestre está mais fria que a atmosfera, existe transferência de energia para a superfície aquecendo-a ( $H$ ), originando-se o arrefecimento da atmosfera, o que por sua vez, pode conduzir à condensação do vapor de água sob a forma de vapor ou geada, invertendo o fluxo de  $\lambda E$ . No fim da noite, ao nascer do sol, os fluxos invertem-se gradualmente novamente, tornando-se conveniente estudar os parâmetros que influenciam estes fluxos de modo a compreender melhor o referido balanço.

O balanço do fluxo de radiação que atinge a superfície terrestre varia em função da distância do Sol à Terra, do ângulo zénite solar e do albedo, sendo que, a temperatura e a humidade do solo e da vegetação, são outros dos factores que influenciam o  $R_n$ . Assim, superfícies de vegetação com Índices de Área Foliar (IAF) e humidade elevados apresentam albedos pequenos e vice-versa.

O balanço de radiação que chega à Terra pode ser dividido em dois tipos: o da radiação de grande comprimento de onda ( $L$ ) e a radiação de pequeno comprimento de onda ( $R_s$ ). Estes termos podem ainda ser agrupados na radiação que é incidente ( $R_s$  e  $L_i$ ) e na que é reflectida ( $R_{sr}$  e  $L_t$ ) pela superfície.

$$R_n = R_s^* + L^* \quad (2)$$

$$R_n = (R_s - R_{sr}) + (L_i - L_t) \quad (3)$$

A radiação reflectida pela superfície ( $R_{sr}$  e  $L_t$ ) depende do albedo da mesma, podendo, em prados e pastagens, o albedo ( $A$ ) variar entre 0,16 a 0,25 (Oke; 1987).

Em relação à superfície do solo, durante o dia o fluxo de radiação ( $R_n$ ) é positivo uma vez que a superfície está a captar mais energia do que aquela que emite. Durante a noite o fluxo de radiação é negativo, uma vez que apenas incide a radiação de grande comprimento de onda e em baixa magnitude. Como consequência, a atmosfera fica mais fria que a superfície e existe transferência de energia da superfície para a atmosfera, encontrando-se a primeira a perder energia.

O fluxo de calor sensível ( $H$ ) resulta da diferença de temperaturas entre a superfície terrestre e a atmosfera. A temperatura nas camadas atmosféricas varia, continuamente, com a altitude e com o gradiente vertical de temperatura, conduzindo a que, na camada da atmosfera junto ao solo (primeiros milímetros), maioritariamente, a transferência de energia (calor) aconteça por difusão molecular. À medida que a distância ao solo aumenta, as trocas de energia dão-se fundamentalmente devido à turbulência. O fluxo de calor sensível é dirigido da superfície para a atmosfera durante o dia acontecendo o oposto à noite.

O fluxo de calor latente ocorre devido à evaporação ou condensação à superfície e à transpiração foliar da vegetação, ou seja, de acordo com Arya (1998), o fluxo de calor latente depende da evapotranspiração, que, por sua vez, é influenciada pela energia disponível no ecossistema; pelo défice de pressão de vapor do ar; da condutância da superfície (inverso da resistência da superfície); da pressão de vapor e da condutância aerodinâmica (inverso da resistência aerodinâmica). Estas variáveis podem ser relacionadas através da expressão:

$$\lambda E_T = \frac{\Delta R_l + \rho C_p \left( \frac{D}{r_a} \right)}{\Delta + \gamma \left( 1 + \frac{r_s}{r_a} \right)} \quad (4)$$

Em que:

$E_T$  - taxa de transpiração;

$R_l$  – Radiação líquida (ou  $R_n - G$  );

$C_p$  – calor específico do ar;

$D$  - Défice de pressão de vapor;

$\gamma$  - Constante Psicométrica ;

$\lambda$  - Calor latente de vaporização da água;

$\rho$  - densidade do ar;

$r_a$  - resistência aerodinâmica;

$r_s$  - resistencia da superfície.

Assim, a transpiração nas plantas é definida pela libertação de vapor de água das mesmas, que é feita através de órgãos situados nas folhas, os estomas, que controlam a quantidade de água que uma planta perde por transpiração. A abertura destas células é condicionada pela condutância estomática, que tende a aumentar com o acréscimo de energia disponível na superfície. A fotossíntese decorre nas folhas das plantas, logo se existir mais energia a planta abrirá mais os estomas para realizar mais fotossíntese. O inconveniente, deste processo, para as plantas é que os estomas ao abrirem favorecem a perda de água, por transpiração, a qual é compensada ao nível radicular se existir água disponível no solo, caso contrário, a planta estimula o fecho dos estomas através de um mecanismo de auto-regulação. Pode-se então afirmar que a disponibilidade de água nos ecossistemas é um factor determinante para a transpiração e, consequentemente, para a evapotranspiração. De salientar que, da totalidade da água absorvida do solo pelas plantas, 99% dela é perdida por transpiração.

## 2.3 FLUXO DE DIÓXIDO DE CARBONO

O fluxo de dióxido de carbono pode ser dividido nas componentes de GPP e  $R_{eco}$ . Quando a GPP excede a  $R_{eco}$ , o NEE é positivo, o que significa que o ecossistema é um sumidouro de dióxido de carbono, ou seja, que capta mais  $CO_2$  da atmosfera do que aquele que liberta. Quando a  $R_{eco}$  do ecossistema supera a GPP, isto significa que o ecossistema é uma fonte de  $CO_2$ , libertando mais  $CO_2$  para a atmosfera do que aquele que capta, apresentando o NEE valores negativos. Outra forma de avaliar o balanço de  $CO_2$  é determinar se a atmosfera está a perder ou a receber  $CO_2$  do ecossistema, sendo que, neste caso o NEE passa a designar-se de NEP (transferência líquida de  $CO_2$  entre o ecossistema e a atmosfera). Desta forma, o NEE e NEP podem ser relacionados do seguinte modo:

$$NEP = - NEE. \quad (5)$$

Assim, um NEP positivo indica que a atmosfera está a receber dióxido de carbono (e o ecossistema é uma fonte de  $CO_2$ ), um valor de NEP negativo significa que a atmosfera está a perder  $CO_2$  (o ecossistema é um sumidouro).

## A fotossíntese

*“A Produtividade primária bruta é a velocidade total da fotossíntese, incluindo a matéria orgânica utilizada na respiração durante o período de medição”* (Odum; 1988). A fotossíntese é o processo pelo qual as plantas convertem energia luminosa em energia química (Pelczar et al.; 1997). Contudo, nem toda a energia luminosa proveniente da radiação solar que chega à superfície Terrestre é convertida em energia química pelos processos de fotossíntese, apenas a radiação com um comprimento de onda entre os 400 nm e os 700 nm, permite às plantas efectuar a fotossíntese. A este tipo de radiação denominou-se de PPFD ou PAR (Photosynthetic Active Radiation – Radiação Activa Fotossintética). Este processo é desencadeado nas células do mesófilo das folhas das plantas e nos cloroplastos, como mostram as Figura 5 e Figura 6. Os cloroplastos são organelos das células que se distinguem dos restantes, sobretudo, pela sua cor, uma vez que é neles que se encontram as clorofilas.

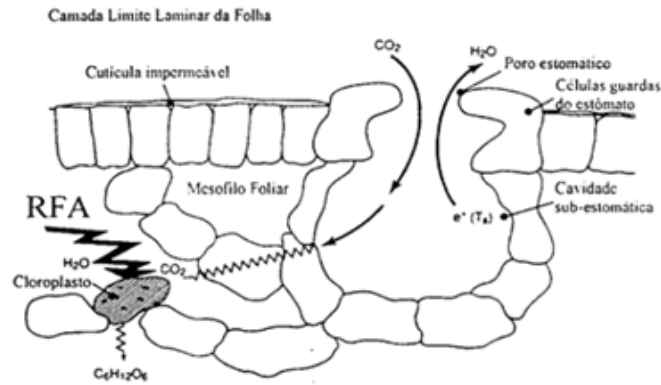


FIGURA 4: A FOTOSSÍNTESE (DA SILVA; 2004)

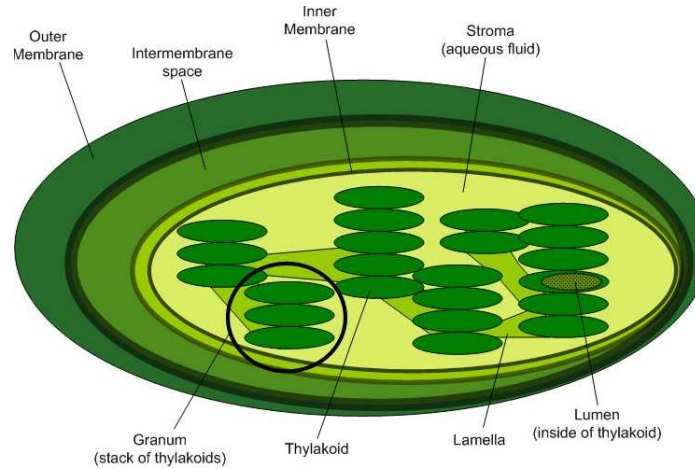


FIGURA 5: ESTRUTURA DE UM CLOROPLASTO

Os cloroplastos apresentam duas membranas lipoproteicas. Na membrana interna, encontram-se os fotossistemas com os pigmentos captadores de luz, as clorofilas, também designados de pigmentos de antena. De acordo com Pelczar et al. (1997), estes fotossistemas são de dois tipos o PSI e o PSII, acontecendo que, no primeiro ocorre a produção de NADPH (Nicotinamide Adenine Dinucleotide Phosphate oxidase), sendo o outro é responsável pelo desdobramento das moléculas de água para produção de  $H^+$  e de electrões. Ambos os sistemas são fundamentais no desenrolar da primeira fase da fotossíntese: a fotofosforilação. Nesta fase dá-se a conversão da PPFd em energia química, através da produção de ATP (Adenosine TriPhosphate) e da redução do NADP (Nicotinamide Adenine Dinucleotide Phosphate). Na segunda fase a energia química (ATP e NADPH) da fase anterior é utilizada na fixação do dióxido de carbono e síntese de moléculas orgânicas. Esta fase é efectuada no estroma dos cloroplastos e é neste momento da fotossíntese que se encontram diferenças significativas entre as plantas C3 e C4 (Halpern; 1997).

Nas plantas C3 o metabolismo fotossintético do carbono é balanceado entre dois ciclos: o ciclo de Calvin e o ciclo da fotorrespiração, nos quais existe uma enzima que desempenha um papel fundamental: a Rubisco. O primeiro composto estável formado é uma molécula de 3 carbonos (daí a designação C3), o 3-P-glicerato (ou ácido-3-fosfoglicérico, PGA). No ciclo de Calvin-Benson o  $\text{CO}_2$  é assimilado e incorporado em moléculas conduzindo à síntese de ATP. De um modo geral, num ciclo de Calvin-Benson completo, três moléculas de RuBP são carboxiladas (passo inicial do ciclo), formando 6 moléculas de PGA, que por sua vez originam 6 moléculas de gliceraldeído-3-fosfato. Destas últimas, cinco são gastas para regeneração das 3 moléculas de RuBP iniciais (para início do novo ciclo), sendo a sexta convertida em glicose-6-fosfato (tornando o balanço do ciclo positivo), que é posteriormente englobado na produção de sacarose no citoplasma da célula e transportada para outros órgãos da planta.

A fotorrespiração é o caminho oposto, que conduz à libertação de  $\text{CO}_2$  num processo que depende do oxigénio. Este processo diminui a eficiência da assimilação do carbono, sendo, no entanto, indispensável para a redução de metabolitos resultantes do ciclo de Calvin; em condições de stress é ainda vital para a dissipação de energia fotoquímica, que poderia conduzir à foto-inibição, isto é, à destruição do fotossistema II inviabilizando todo o processo fotossintético à posteriori (Halpern; 1997).

As plantas C4 caracterizam-se pela formação da primeira molécula estável na assimilação do  $\text{CO}_2$  ser um composto de 4 carbonos, o malato. Além da incorporação do  $\text{CO}_2$ , através do ciclo de Calvin, este tipo de plantas agrupa, ainda,  $\text{CO}_2$ , através da metabolização do piruvato, proveniente da glicose (vide Figura 6). Este tipo de plantas apresenta uma diferença estrutural em relação às plantas C3 importante, dado possuir uma camada proeminente de células clorofiladas, que envolvem os feixes condutores da folha (“anatomia Kranz”). Nestas plantas existe, ainda, a enzima PEP carboxilase que é a responsável pela fixação do  $\text{CO}_2$  e que tem uma afinidade mais elevada pelo  $\text{CO}_2$  do que a Rubisco, sendo que esta última se encontra na bainha de Kranz.

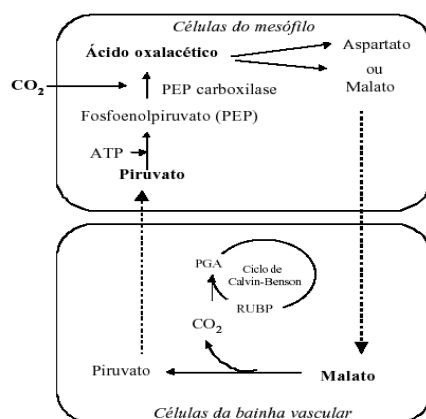


FIGURA 6: METABOLIZAÇÃO DO PIRUVATO.

O facto das duas enzimas estarem confinadas em células diferentes permite que o  $\text{CO}_2$  fixado pela PEP seja transferido (via malato ou aspartato) até à bainha dos feixes vasculares, onde ocorre a descarboxilação com a entrada do carbono no ciclo de Calvin-Benson, evitando, assim, a fotorrespiração.

A fixação do  $\text{CO}_2$  atmosférico via  $\text{C}_4$  implica armazenar  $\text{CO}_2$  nas células da bainha, o que é feito através do consumo de ATP. Contudo as plantas  $\text{C}_4$  são mais eficientes que as  $\text{C}_3$  em temperaturas acima dos  $30^\circ\text{C}$ , uma vez que expostas a estas condições a energia dispendida no mecanismo de bombardeamento do  $\text{CO}_2$  nas plantas  $\text{C}_4$  é menor que a energia consumida na fotorrespiração das  $\text{C}_3$ . A eficiência das plantas  $\text{C}_4$  é influenciada positivamente pelo facto da PEP ter grande ligação ao ião  $\text{HCO}_3^-$ , o que possibilita a estas plantas regular a abertura dos estomas e, consequentemente, controlar as perdas de água por transpiração (Halpern; 1997).

A predominância das plantas  $\text{C}_3$  ou  $\text{C}_4$  depende de uma série de factores que influenciam a eficiência da fotossíntese, tais como: os níveis de radiação PPFD incidente; a temperatura do ar; o vento; a disponibilidade de água; as concentrações de dióxido de carbono, o oxigénio e azoto e o IAF.

A realização da fotossíntese nas plantas necessita da PPFD, logo é de pressupor que quanto maior a quantidade deste tipo de radiação maior a taxa de fotossíntese. Todavia, na prática, níveis elevados de PPFD não aumentam a eficiência da fotossíntese, uma vez que a energia excedente é dissipada pela fotorrespiração; caso contrário, a foto inibição inviabilizaria a fotossíntese. Relativamente à temperatura do ar, esta influencia a fotossíntese, uma vez que, interfere nas perdas de água da planta por transpiração e na carência hídrica da folha. Por outro lado, a fotossíntese é um processo que é regulado por enzimas as quais, por sua vez, são eficientes a uma dada temperatura óptima, sendo que abaixo dessa temperatura podem tornar-se inactivas e acima podem desnaturar.

Assim, a água disponível quer na atmosfera (humidade relativa) quer no solo, tem um papel fundamental, na medida em que, se os níveis de água no solo forem baixos, situação de seca, a planta tem pouca água disponível e um mecanismo para evitar as perdas: é fechar (total ou parcialmente) os estomas, condicionando a entrada de  $\text{CO}_2$  atmosférico e de PPFD, assim como, a taxa de fotossíntese. De modo semelhante, em condições de baixa humidade relativa na atmosfera a planta vai ter tendência a perder mais água por transpiração foliar; todavia, para evitar essas perdas os estomas podem ser fechados total ou parcialmente, tornando-se estes sensíveis à presença de  $\text{CO}_2$ . Tal conduz a que os estomas fechem sempre que a concentração em  $\text{CO}_2$  aumenta, quer na câmara estomática devido a um aumento da respiração mitocondrial, quer devido a um aumento do  $\text{CO}_2$  atmosférico. Esta situação acontece devido ao facto das elevadas concentrações de  $\text{CO}_2$  influenciarem a presença do  $\text{HCO}_3^-$  que por sua vez influencia o pH e o ciclo de Calvin (a eficiência do ciclo diminui com um abaixamento do pH) (Halpern; 1997). Por outro lado a fotorrespiração é influenciada positivamente pela concentração de oxigénio, diminuindo a eficiência da fotossíntese. A concentração de azoto influencia a fotossíntese, na



medida em que interfere no desempenho da enzima Rubisco. O Índice de Área Foliar condiciona a fotossíntese, na medida em que, quanto mais folhas, maior a taxa de fotossíntese, uma vez que esta se efectua através delas.

## A respiração

À transferência de dióxido de carbono entre a atmosfera e os seres vivos que habitam a superfície terrestre designa-se de respiração do ecossistema, ou seja, a respiração do ecossistema é o somatório do dióxido de carbono que os organismos acima e abaixo do solo libertam.

Nos organismos autotróficos, o  $\text{CO}_2$  a nível celular é um metabolito resultante da regeneração de NAD (Nicotamine Dinucleotide) e produção de ATP a nível celular. O NAD é convertido em  $\text{NADH}_2$  (NAD oxidase) em processos como a fotossíntese e a glicose, através dos quais se produzem e degradam compostos com a finalidade de gerar biomassa e manter o organismo vivo. Este composto não é inesgotável e, embora não seja tão eficiente quanto a fotossíntese, é através da respiração e com o benefício de um saldo positivo de ATP que se regenera o NAD (dando-se por isso a respiração em período nocturno).

Os organismos heterotróficos consomem compostos que não sintetizam, visando a obtenção de carbono e energia, mas nas actividades catabólicas com esses substratos (que visam o desenvolvimento pleno do ser vivo). Estes organismos têm a mesma necessidade de recuperação de moléculas, envolvendo um grande esforço energético para sintetizar. Como consequência, para a regeneração dessas moléculas os seres heterotróficos podem depender do Oxigénio ou de outros compostos como aceitadores de electrões nesse processo, fazendo, assim, respiração e/ou fermentação, libertando para o solo e atmosfera nutrientes e  $\text{CO}_2$ .

Todos os seres vivos de um ecossistema são importantes para o bom funcionamento dos ciclos de carbono, água e nutrientes entre a atmosfera e o solo. Se por um lado acima do solo, as plantas fixam os nutrientes e o carbono e convertem a energia radiante em química, criando biomassa e disponibilizando-a como fonte de carbono e energia para os seres heterotróficos, à medida que se avança na cadeia alimentar estes nutrientes são transferidos para o solo, quer como excrementos, quer como matéria morta, que por sua vez será utilizada como substrato por seres vivos que habitam o solo. Como consequência do metabolismo destes últimos organismos, os nutrientes, água e carbono acabaram por serem libertados para a atmosfera fechando os ciclos.

Entende-se como respiração acima do solo todo o processo de respiração de seres autotróficos e heterotróficos, cuja variedade é tão elevada como a das plantas, animais, fungos e bactérias, que se

encontram acima da superfície. Contudo, são os organismos de grande porte que influenciam, de forma mais notória, a respiração do ecossistema visto que estes corpos influenciam a componente da respiração acima do solo, assim como a composição do próprio solo. Abaixo do solo, a designada respiração do solo, é a parcela mais significativa da respiração do ecossistema e pode ser dividida noutras três: respiração das raízes das plantas; respiração dos organismos heterotróficos que habitam o solo e no  $\text{CO}_2$  disponibilizado aquando a pedogénese.

A respiração do solo é afectada por vários factores, dos quais se destacam a temperatura, a humidade do solo e a fotossíntese. A sazonalidade é outro factor que influencia as taxas de respiração do solo visto influenciar todos os factores referidos anteriormente.

No que diz respeito ao factor temperatura pode-se afirmar que o processo de respiração do solo tende a aumentar com o acréscimo da temperatura; no entanto quando se dá um aumento de temperatura a temperaturas baixas a respiração do solo é muito maior do que quando se verifica um aumento de temperatura da mesma amplitude, mas a temperaturas mais elevadas.

Relativamente à humidade do solo, que se traduz na quantidade de água disponível neste, verifica-se que ela influencia significativamente a respiração do solo, quer para valores muito baixos, quer para valores altos.

A fotossíntese influencia a respiração no solo na medida em que contribui directamente para a constituição da fracção do húmus do solo.

De um modo geral, de acordo com Aires (2007), o  $\text{CO}_2$  libertado do solo é reflexo da produtividade biológica do solo. No entanto outros factores, como a flutuação de alta-frequência da pressão atmosférica, podem alterar as taxas de transferência de  $\text{CO}_2$  do solo para a atmosfera.

## 2.4 MEDIÇÃO DOS FLUXOS

Actualmente existem diversos métodos para a medição de fluxos, através das técnicas micrometeorológicas, tais como a técnica da variância, a técnica do gradiente de concentração, ou ainda, a técnica de correlação turbulenta (Arya; 1998, Aires; 2007). De todos os métodos anteriormente referidos, o método da correlação turbulenta é largamente utilizado devido aos resultados obtidos se aproximarem dos resultados obtidos através de técnicas ecológicas (Curtis et al.; 2002, Ehman; 2002).

Este método baseia-se nas médias de Reynolds, relacionando a componente vertical da velocidade do vento (responsável pela mistura vertical dos constituintes na atmosfera) com outras variáveis, tais como a

temperatura, a concentração do vapor de água e a concentração do dióxido de carbono. De acordo com decomposição de Reynolds:

$$\text{Variável} = \text{valor médio} + \text{flutuação} \quad (6)$$

Desta forma, se for considerado  $w$  como a componente vertical do vento e  $a$  um escalar,  $w'$  e  $a'$  as flutuações, da expressão anterior estas duas variáveis podem ser descritas como:

$$w = \bar{w} + w' \quad (7)$$

$$a = \bar{a} + a' \quad (8)$$

O transporte vertical de uma variável num dado instante, ou fluxo instantâneo, é descrito como:

$$F_{zi} = wa \quad (9)$$

A média dos fluxos instantâneos, considerando um dado período de tempo, é um fluxo médio que adopta uma expressão semelhante à anterior, apenas para calcular este fluxo, em vez de se utilizar os valores instantâneos, utiliza-se os valores médios:

$$F_z = \overline{wa} \quad (10)$$

De acordo com a decomposição de Reynolds:

$$\overline{wa} = \overline{w\bar{a}} + \overline{w'a'} \quad (11)$$

Então a expressão do  $F_z$  fica:

$$F_z = \overline{w\bar{a}} + \overline{w'a'} \quad (12)$$

Uma vez que a CLA se caracteriza por uma turbulência bem definida, isto implica que as parcelas de ar que sobem são contra-balançadas pelas parcelas de ar que descem, o que se traduz numa componente vertical do vento de valor nulo ou seja  $\bar{w} = 0$ . Assim a expressão anterior fica apenas dependente das flutuações (turbulência):

$$F_z = \overline{w'a'} \quad (13)$$

Os períodos médios referidos devem ser de 30 minutos, uma vez que este período de tempo é suficientemente longo para permitir “amaciamento” de instabilidades e simultaneamente, suficientemente curto para diminuir problemas de advecção.

De acordo com o exposto, os fluxos de calor sensível, vapor de água e dióxido de carbono adoptam as seguintes expressões:

$$H = \rho C_p \overline{w'T'} \quad (14)$$

$$E = \overline{w'\rho'_v} \quad (15)$$

$$NEE = \overline{w'c'} \quad (16)$$

em que  $c$  se refere à concentração de  $\text{CO}_2$ .

Recorrendo á determinação de outro fluxo, o fluxo de momento linear ( $\tau$ ), é possível determinar outros parâmetros que possibilitam a caracterização da estabilidade da atmosfera, tais como a velocidade de fricção ( $u_*$ ) e o comprimento Monin-Obukov ( $L$ ):

$$\tau = -\rho \overline{w'u'} \quad (17)$$

$$u_* = (-\overline{w'u'})^{1/2} \quad (18)$$

$$L = -\frac{\overline{T}u_*^3}{kg \overline{w'T'}} \quad (19)$$

Um sistema de medição por correlação turbulenta baseia-se nestes pressupostos e é constituído por vários aparelhos como é descrito no ponto da “caracterização da área de estudo” do presente estudo.

Esta técnica apresenta algumas vantagens, nomeadamente: possibilita medir as trocas de  $\text{CO}_2$  a nível do ecossistema; produz medições directas das trocas líquidas entre a atmosfera e as plantas; a área da de estudo do campo é longitudinal, alcançando desde centenas de metros a vários quilómetros; a escala temporal das mediações pode ser de horas a anos. Contudo, a referida técnica, apresenta algumas limitações, designadamente, o facto de ser apenas aplicável em terrenos planos e em condições estacionárias (Baldocchi; 2003), o que pode implicar a leitura de dados subestimados ou sobrestimados (Aires; 2007). Desta forma, e visando a obtenção de dados válidos é necessário efectuar algumas correcções de modo a obter estimativas fiáveis.

Assim, neste estudo serão abordadas de modo resumido cinco tipos de correcções.

- **Correcção para a atenuação das contribuições turbulentas de alta e baixa frequência**

Os sistemas de correlação turbulenta tendem a conduzir à subestimação dos fluxos, facto que acontece, essencialmente, por dois motivos: este tipo de sistemas não consegue medir parte das contribuições

turbulentas de alta-frequência e os métodos de processamento dos dados e cálculos das médias levam à atenuação das contribuições turbulentas de baixa frequência para o transporte vertical de energia e massa.

- **Correcção para o armazenamento de dióxido de carbono no volume de ar entre a superfície do solo e a altura de medição**

O sistema de correlação turbulento pressupõe condições de estacionaridade das concentrações de  $\text{CO}_2$  entre o solo e a altura a que se efectuam as medições. No entanto, na realidade isto não acontece, quer devido à existência de vegetação de diferentes alturas, vegetação cerrada, quer devido a condições nocturnas de baixa turbulência e, conseqüentemente, a uma mistura ineficaz e não homogénea da concentração de  $\text{CO}_2$  na atmosfera. Como resultado surge a armazenagem do dióxido de carbono junto da vegetação. No caso de prados e pastagem este tipo de correcção pode não ser efectuado, já que a contribuição do armazenamento de  $\text{CO}_2$  junto da vegetação rasteira é desprezável (Aires; 2007).

- **Correcção para efeitos advectivos**

Um dos princípios em que a técnica da correlação turbulenta assenta é que se assume que as medições são efectuadas em terreno plano, evitando, assim, fenómenos de advecção. Na prática, esta imposição raramente é válida, devido às ondulações naturais que os terrenos apresentam.

Assim verificam-se os fenómenos de advecção que acabam por introduzir erros nas leituras dos equipamentos.

- **Correcção para a influência das flutuações da densidade do ar**

O sistema de correlação turbulento parte do princípio que a componente média da velocidade do vento ( $\overline{w}$ ) é nula. No entanto na realidade as flutuações de densidade do ar afectam este pressuposto, inviabilizando-o.

Desta forma, e de modo a corrigir os erros causado por ieste fenómeno, geralmente adopta-se a correcção de Webb-Perman-Leuning, nomeadamente nos fluxos médios de dióxido de carbono e vapor de água.

- **Correcções dos fluxos de calor sensível para o efeito da humidade**

A temperatura é determinada a partir da velocidade do som; contudo, a velocidade do som é afectada pela humidade do ar, conduzindo a que o cálculo da temperatura seja afectado pela variação da humidade do ar. Nestes casos, utiliza-se a correcção de Schotanus/Liu para eliminar o erro provocado.

## A qualidade dos dados obtidos

Após a aquisição dos dados há que garantir que os mesmos são válidos perante o método pelo qual foram recolhidos (método da correlação turbulenta) e representativos da área em estudo. Para tal, existem alguns testes que se podem efectuar, tais como: avaliar a estacionariedade e as características do integral de turbulência, o fecho do balanço de energia e a análise de “footprint” (zona de influência).

- **Avaliação da estacionariedade**

Um dos princípios da técnica de correlação turbulenta é a estacionariedade, isto é, um fluxo não variar durante um determinado período de tempo (por exemplo de 30 minutos); a avaliação da estacionariedade pode ser efectuada de acordo com Foken e Wichura (1996), usando os seguintes critérios:

1. Dividir o período médio de 30 minutos em 6 intervalos (de 5 minutos);
2. Calcular a co-variância média correspondente a cada intervalo;
3. Calcular a média das co-variâncias dos 6 intervalos.

Se o desvio do valor do ponto 3 for inferior a 30% da média das co-variâncias dos intervalos de 5 minutos, considera-se satisfeita a condição de estacionariedade.

- **Caracterização do integral de turbulência**

Para determinação do desenvolvimento das condições turbulentas na atmosfera, de acordo com Foken e Wichura (1996), utiliza-se os seguintes parâmetros e condições:

$$\left(\frac{\sigma_w}{u_*}\right) = C_1 \times \left(\frac{z}{L}\right)^{C_2} \quad (20)$$

Parâmetro	$\left(\frac{z}{L}\right)$	$C_1$	$C_2$
$\left(\frac{\sigma_w}{u_*}\right)$	$0 > \left(\frac{z}{L}\right) > -0,032$	1,3	0
	$-0,032 > \left(\frac{z}{L}\right) > -1$	2,0	1/8

TABELA 1: PARÂMETROS PARA O CÁLCULO (FOKEN; 1996)

Se a diferença entre o valor medido e o modelado for inferior a 30% significa que a turbulência está bem desenvolvida.

De acordo com o projecto CARBOEUROPE os dados obtidos devem ser classificados em classes de qualidade, de acordo com a avaliação da estacionariedade e a caracterização do integral de turbulência, como mostra a Tabela 2.

TABELA 2: CARACTERIZAÇÃO DA CLASSE DE QUALIDADE DOS DADOS

Teste de estacionariedade (desvio em %)	Integral de turbulência (desvio em %)	Classe de qualidade dos dados
<30	<30	0
<100	<100	1
>100	>100	2

Sendo a descrição das classes a seguinte:

- ✘ Classe de qualidade 0: dados de elevada qualidade, usados o mais possível no trabalho de investigação.
- ✘ Classe 1: dados de boa qualidade, sem restrições de uso a longo termo em programas de observação.
- ✘ Classe 2: dados de fraca qualidade, devendo ser rejeitados

#### • Avaliação do fecho do balanço de energia

A avaliação do fecho do balanço de energia é um método independente de avaliar os dados obtidos através do sistema de correlação turbulenta (Wilson et al.; 2002), que se traduz na equação seguinte:

$$\lambda E + H = R_n - G - S - Q \quad (21)$$

De acordo com Li et al. (2006) os termos  $S_\sigma$  e  $Q$  podem ser desprezados devido à sua baixa magnitude, ficando a expressão anterior reduzida a:

$$\lambda E + H = R_n - G \quad (22)$$

A avaliação do fecho do balanço de energia pode ser feita através de quatro métodos distintos, dos quais se destacam:

- a) A regressão linear e respectivo coeficiente entre os termos da equação anterior;

- b) Cálculo da taxa EBR (Energy Balance Ratio – Razão do Balanço de Energia), através da expressão:

$$EBR = \frac{\sum(\lambda E + H)}{\sum(R_n - G)} \quad (23)$$

A falta do fecho do balanço de energia pode ser fundamentalmente devido a: 1- não coincidência entre as áreas observadas pelo sistema de correlação turbulenta e o sistema de medições independentes de  $R_n - G$ ; 2- erros sistemáticos nos instrumentos utilizados; 3- perda da contribuição das altas e baixas frequências para os fluxos turbulentos; 4- desprezo indevido da contribuição de outros sumidouros de energia; 5- fenómenos de advecção (Wilson et al.; 2002).

A avaliação do fecho do balanço de energia é um instrumento útil não só para a validação dos resultados obtidos para os fluxos de calor sensível e latente ( $\lambda E$  e  $H$ ), como também para os dados referentes ao fluxo de dióxido de carbono, uma vez que, a relação entre  $CO_2$ , a PPFD e a respiração nocturna são afectadas pela extensão do fecho do balanço de energia. (Wilson et al.; 2002).

- **Análise de “footprint”**

Segundo Schmid (2002) o “footprint” (ou a pegada) das medições de um fluxo turbulento define o contexto espacial da medição. Por outras palavras, “footprint” é a área que contem todas as fontes e sumidouros relevantes por influenciarem as medições de um sistema de correlação.

As áreas de “footprint” variam de acordo com as condições atmosféricas do local, tamanho e tipo de coberto vegetal que a área em estudo apresente. Saber de que forma estas fontes e sumidouros influenciam e alteram os dados obtidos num sistema de correlação, é fundamental, para aferir a qualidade das medições, uma vez que desta forma é possível saber quais as áreas que devem ou não ser desprezadas por serem ou não representativas para as medições.

Existem vários modelos de análise de “footprint” consoante a abordagem realizada, dos quais podemos destacar, os modelos que recorrem a soluções analíticas da equação de difusão – advecção, simulações estocásticas lagrangeanas, ou Large Eddy Simulations (LES) (Foken e Leclerc; 2004). São os modelos de simulação Lagrangeana (LES) os que apresentam melhores resultados, dado que se baseiam na descrição das trajectórias de partículas num fluxo turbulento. O LES tem a vantagem de considerar a tridimensionalidade da difusão turbulenta e a não homogeneidade da turbulência Gaussiana. (Schmid; 2002).

Assim, neste estudo, o modelo de “footprint” que foi utilizado foi o descrito por Schuepp et al. (1990). De acordo com estes autores, a importância de sumidouros e fontes pode ser expressa através da equação (22):



$$\frac{1}{Q_0} \times \frac{dQ}{dx} = - \frac{U(z-d)}{u_* K x^2} \times e^{-\frac{U(z-d)}{Ru_* x}} \quad (24)$$

Derivando e igualando a zero, a equação anterior, pode-se determinar o pico de “footprint”, isto é, a área de estudo mais significativa para a medição no ponto (0;z):

$$x_{m\acute{a}x} = \frac{U}{u_*} \times \frac{z-d}{2K} \quad (25)$$

Voltando à equação (22), se num estudo se considerar uma determinada área até uma distância  $X_L$  o fluxo medido a uma dada altura Z pode ser obtido por integração dessa expressão, resultando a contribuição cumulativa para o fluxo total medido (CCF):

$$CCF(X_L) = e^{-\frac{U(z-d)}{Ru_* X_L}} \quad (26)$$

As expressões referidas anteriormente baseiam-se no pressuposto de que estamos a realizar um estudo em condições atmosféricas neutras. Todavia, sendo este critério impossível de cumprir espera-se a introdução de alguns erros. Visando a correcção desses erros utilizam-se funções de correcção que podem ser multiplicadas pelas parcela  $U/u_*$  das ultimas equações. Um exemplo dessa função de correcção de estabilidade para a quantidade de movimento é a proposta por Dyer (1974):

$$\phi = \begin{cases} \left(1 - \frac{16(z-d)}{L}\right)^{\frac{1}{4}}, & L < 0 \\ 1 + \frac{5(z-d)}{L}, & L > 0 \end{cases} \quad (27)$$

Os parâmetros  $d$  e  $z_0$  podem ser calculados com base na altura média da vegetação  $h$  através das expressões:

$$d = \frac{2}{3}h \quad \text{e} \quad z_0 = 0,1 h \quad (28)$$

Goeckede (2005) sugere, contudo, que os valores de  $z_0$  nunca sejam inferiores a 0,03 m. Assim  $z_0$  passa a ser determinado do seguinte modo (Aires; 2007):

$$z_0 = \begin{cases} 0,03, & h \leq 0,1 \\ 0,03 + 0,1(h - 0,1), & h > 0,1 \end{cases} \quad (29)$$

Apesar das correcções introduzidas a interdependência dos parâmetros  $d$  e  $z_0$  conduz a incertezas associadas às medições, devido à dificuldade no seu cálculo. Contudo, este modelo apresenta vantagens, nomeadamente, o facto de produzir estimativas razoáveis de um modo simples.

- **Preenchimento de falhas (“gap-filling”)**

Os dados adquiridos através de um sistema de correlação turbulenta, apesar de serem captados de forma quase contínua, são geralmente descontínuos e apresentam falhas. Estas falhas podem ser resultado de algum problema técnico dos equipamentos, que devido a alguma avaria deixou de efectuar as leituras ou, ainda, devido a perda de dados aquando do seu tratamento.

Assim, os resultados em bruto são geralmente submetidos a rotinas, as quais têm como finalidade eliminar as medições que por algum motivo sejam erróneas ou imprecisas. Para obter um histórico contínuo e válido de medições, com o fim de estimar fluxos anuais ou sazonais, torna-se importante preencher as lacunas nos dados armazenados, aos quais se dá o nome de “gap-filling” (métodos de preenchimento das lacunas). Existem vários métodos de “gap-filling”; porém, de acordo com Falge et al. (2001) existem dois tipos de métodos que se destacam devido à sua ampla utilização: o método da variação da média diária e os métodos semi-empíricos (as “look-up tables” e o método das regressões não lineares).

No presente estudo foram utilizados dois métodos de “gap-filling”, aos quais se dará maior ênfase: o método da variação da média diária (para o “gap-filling” do  $H$ ) e um algoritmo desenvolvido por Reichstein et al. (2005) [fluxos de evapotranspiração ( $E$ ) e NEE].

O método da variação da média diária consiste em preencher as falhas de 30 minutos com valores médios do mesmo período de dias adjacentes. Este valor médio é resultante de um intervalo de 4 a 15 dias, sendo a principal desvantagem o facto de não considerar as variações das condições meteorológicas que podem ocorrer nesse intervalo de dias.

O algoritmo desenvolvido por Reichstein et al. (2005) tem como duplo objectivo a divisão do NEE nas suas duas principais componentes ( $R_{eco}$  e GPP) e o preenchimento das falhas no NEE e no  $E$ . Neste algoritmo os dados em falta (as médias de 30 minutos) agrupam-se em três grupos, de acordo com os dados disponíveis de temperatura do ar, radiação solar global e défice de pressão de vapor do ar.

No primeiro grupo existem todos os dados disponíveis e cada lacuna é preenchida por um valor médio resultante de observações em condições meteorológicas (das 3 variáveis referidas) similares num período de 7 dias, podendo este período ser alargado para 14 dias (intervalos de dias aproximados).

No segundo grupo apenas a radiação é utilizada para definir as condições meteorológicas aproximadas, sendo o método de preenchimento das lacunas idêntico.

No terceiro e último grupo as falhas são preenchidas de acordo com o método da variação da média diária e não existe informação acerca de nenhum dos dados.

Os erros introduzidos pelos métodos de “gap-filling” resultam dos erros provenientes das rotinas de controlo da qualidade dos dados e do próprio processo de “gap-filling”. Contudo, os erros não apresentam uma variação significativa entre os métodos utilizados, sendo proporcionais à percentagem de lacunas preenchidas. Não têm um impacto significativo nas somas anuais, desde que a percentagem de dados excluídos não ultrapasse os 40% e os dados remanescentes sejam representativos da população dos dados em estudo (Falge et al.; 2001).

# 3. Materiais e Métodos

## 3.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

Situada a, aproximadamente, 15 km da cidade de Évora, no Monte do Tojal (Figura 7), no sul de Portugal, a pastagem onde se encontra o equipamento é constituída por cerca de 50 hectares. O acesso à área de estudo dá-se pela estrada nacional 380, que se localiza a Noroeste do monte. A Norte do mesmo espaço existe a linha ferroviária e dentro do monte existem estradas privadas que facilitam o acesso aos vários campos.



FIGURA 7: ESTRADA PARTICULAR DE ACESSO À ESTAÇÃO DE AMOSTRAGEM.

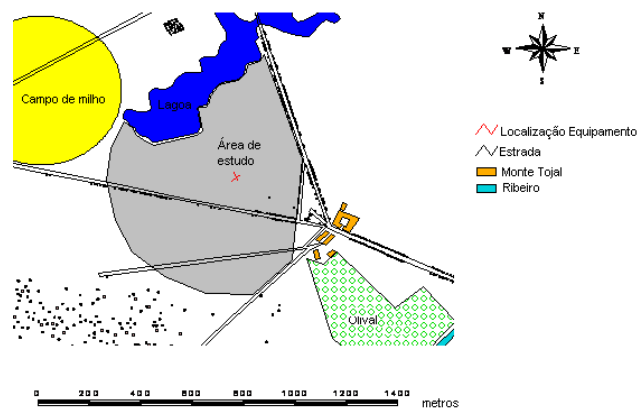


FIGURA 8: LOCALIZAÇÃO DA ESTAÇÃO DE AMOSTRAGEM (ADAPTADO DE AIRES; 2007)

## 3.2 CARACTERIZAÇÃO GEOMORFOLÓGICA

O Monte do Tojal apresenta um Luvisolo, assente num maciço rochoso granitoide e composto por rochas granodioritos e quartzodioritos. Relativamente á composição do solo no terreno, pode-se afirmar que a mesma ronda os 20% argila, 71% de areia e 9% de silte (Aires; 2007).

## 3.3 CLIMA

Para uma melhor caracterização do clima ao qual se encontra exposta a área de estudo em análise torna-se, fundamental, realizar uma breve caracterização do clima de Portugal Continental, que, devido à sua localização espacial, se apresenta por ser um clima de uma região mediterrânica.

Assim, e de acordo com vários estudos, Portugal encontra-se sobre a influência de dois fenómenos importantes: o anticiclone dos Açores, que no Inverno se desloca para Sul de Portugal, justificando o facto de 90% da precipitação anual se verificar entre Outubro e Maio, e as depressões subpolares. Relativamente as estações do ano, estas são, temporalmente, bem delineadas, apresentando-se verões muito quentes e secos, invernos frios e chuvosos e Primaveras e Outonos amenos.

Desta forma, e de acordo a classificação de Köppen, no Sul de Portugal sente-se de modo particular o clima mediterrâneo apresentando-se um ambiente mesotérmico.

### 3.4 CARACTERIZAÇÃO DO MEIO ENVOLVENTE

Observando a Figura 8 verifica-se que o Monte do Tojal é composto por um casario, um olival, uma lagoa um campo de milho e a pastagem em estudo, sendo os terrenos à volta destas áreas plantadas com sobreiros, choupos e eucaliptos. A estrada que dá acesso à pastagem é de terra batida, encontrando-se paralela a algumas amoreiras brancas de médio porte. A Sudoeste da pastagem existe uma plantação de sobreiros, que na sua maioria são do tipo *Quercus suber* L. A Sudeste da pastagem existe o Olival, precedido de um ribeiro. A Noroeste situa-se o campo de milho e a lagoa. Atravessando todo o sector nordeste encontra-se uma fila de eucaliptos, colateral a uma estrada privada do monte. O campo de milho é utilizado sazonalmente de Junho, quando se semeia o campo, até início de Setembro, aquando da sua colheita.



FIGURA 9: VISTA NOROESTE – AO FUNDO SOBREIROS E CAMPO MILHO



FIGURA 10: VISTA NORDESTE – AO FUNDO FILA DE EUCALIPTOS A NORDESTE DA ESTAÇÃO METEOROLÓGICA

A estação meteorológica localiza-se na pastagem semi-natural onde proliferam plantas herbáceas e gramíneas (Figura 9 e Figura 10) e o terreno é revolvido em meados de Outubro, como mostra a Figura 11 (aspecto do solo). Desde o início do Projecto CARBOEUROPE-IP e até Outubro de 2007 o terreno foi pastoreio de ovelhas, com uma densidade de 60 animais/ha. A partir dessa data a pastagem foi novamente semeada com *Lupinus luteus*.



FIGURA 11: ASPECTO DO SOLO DAS MARCAS DEIXADAS PELO ARADO.



FIGURA 12: *CHAMAEMELUM FUSCATUM*



FIGURA 13: *LUPINUS LUTEUS*



### 3.5 ESTAÇÃO DE AMOSTRAGEM

Analisando a Figura 14 consegue-se descrever o impacto visual do equipamento, nomeadamente da estação de amostragem, na área de estudo.

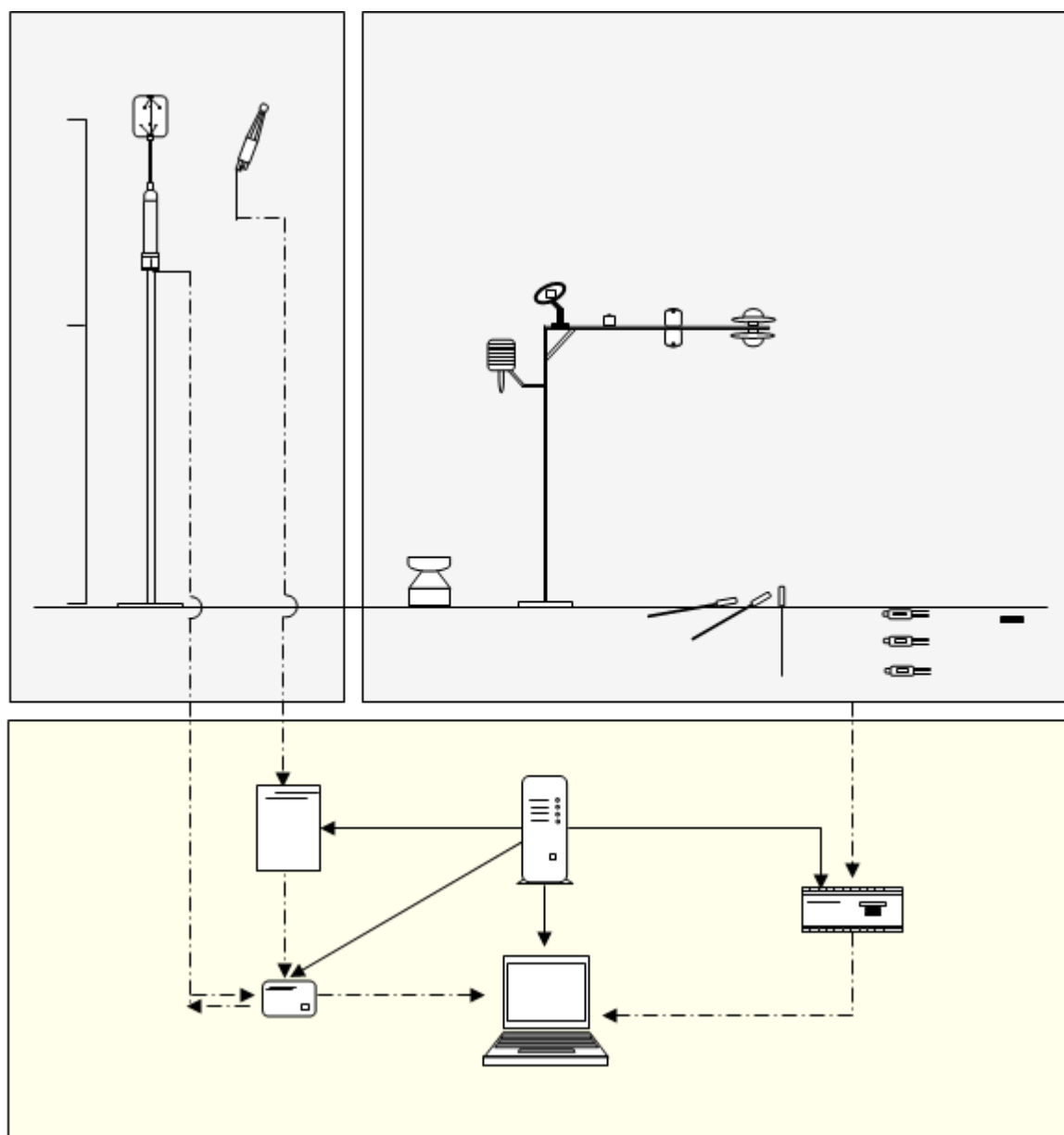


**FIGURA 14: PROMENOR DA ESTAÇÃO DE AMOSTRAGEM**

A estação de amostragem é composta por um sistema de correlação turbulenta, um sistema meteorológico e um sistema de aquisição de dados, previamente instalados e em funcionamento desde Junho de 2004 (Aires; 2007). As distâncias mínimas de “fetch”<sup>♦</sup> são de 200 m do caminho de acesso à estação (amoreiras brancas), 250 m no sector Noroeste e 270 m a Sudeste. A Oeste e a Sul a distância de “fetch” são de 500 m. O funcionamento da estação pode ser visualizado na Figura 15.

---

<sup>♦</sup> Distâncias horizontal onde as condições da superfície são homogéneas.



**FIGURA 15: REPRESENTAÇÃO ESQUEMÁTICA DO EQUIPAMENTO QUE COMPÕE A ESTAÇÃO DE AMOSTRAGEM [SISTEMA DE CORRELAÇÃO TURBULENTA (A), O SISTEMA METEOROLÓGICO (B) E O SISTEMA DE AQUISIÇÃO DE DADOS (C)]**

O sistema de correlação turbulenta é constituído por:

- ✂ Anemómetro ultra-sónico 3D, modelo 1210R3, Gill Instruments Ltd., Lymington, UK. Este aparelho contém uma cabeça de medição com três pares de transdutores que medem as componentes da velocidade do vento a 3D e a do som.



- ✂ Analisador de CO<sub>2</sub>/H<sub>2</sub>O de percurso aberto IRGA, modelo LI-7500, LI-COR Inc., Lincoln, NE, USA) com uma cabeça de medição com duas janelas ópticas, em que numa se dá a emissão de feixes de radiação infravermelha e na outra a recepção desses mesmos feixes.

Este sistema permite medir de forma contínua os fluxos de dióxido de carbono, vapor de água e calor sensível. Está colocado a uma altura de 2,5 m e a uma distância de 25 cm. O sistema meteorológico é constituído pelos elementos descritos na Tabela 3, que descreve também a função e a altura de colocação.

TABELA 3: INSTRUMENTAÇÃO UTILIZADA (ADAPTADO DE AIRES; 2007)

Parâmetro	Sensor	Fabricante	Localização
Radiação solar global, incidente ( $R_s$ )	Solarímetro de Casella (piranómetro)	Casella London Ltd., Kempston, UK	1,5 m de altura
Radiação solar global, reflectida ( $R_{st}$ )	Starpyranometer 8101 (piranómetro)	Philipp Schenk, Wien, AT	1,5 m de altura
Radiação infravermelha incidente ( $L_i$ )	CG-3 (pirgeómetro)	Kipp & Zonen, Delft, NL	1,5 m de altura
Radiação infravermelha terrestre ( $L_t$ )	CG-3 (pirgeómetro)	Kipp & Zonen, Delft, NL	1,5 m de altura
Radiação fotossinteticamente activa incidente (PPFD)	LI-190SA (PAR)	LI-COR, Lincoln, Nebraska, USA	1,5 m de altura
Radiação fotossinteticamente activa difusa (PPFDd)	QS-1 (PAR)	Delta-T Devices, Burwell, Cambridge, UK	1,5 m de altura
Humidade relativa do ar (HR)	MP300	Campbell Scientific Ltd., Shepshed, UK	1,5 m de altura
Temperatura do ar (T)	MP300	Campbell Scientific Ltd., Shepshed, UK	1,5 m de altura
Precipitação (PPT)	ARG100 (pluviómetro)	Environmental Measurements Ltd., Gateshead, UK	sobre o terreno
Temperatura do solo ( $T_s$ )	PRT	—	2, 10 e 20 cm de profundidade
Humidade do solo ( $\theta_v$ )	ML2x	Delta-T Devices, Burwell, Cambridge, UK	2, 15 e 30 cm de profundidade
Fluxo de calor no solo (G)	HFT-3	Campbell Scientific Ltd., Shepshed, UK	8 cm de profundidade

O sistema de aquisição de dados é constituído por:

- ✖ Unidade SIU (sensor input unit) que recebe os sinais analógicos do sistema de correlação turbulenta;
- ✖ Datalogger que tem como função a aquisição dos sinais do sistema meteorológico, com a excepção do pluviómetro.
- ✖ Computador portátil recebe todos os dados enviados pelas unidades anteriores. O computador tem instalado dois softwares específicos para cada sistema anterior: o EddyMeas e o Delogger (respectivamente). Os dados são armazenados em formato \*.txt para posterior análise;
- ✖ Bateria que garante o abastecimento de energia durante 1 hora em caso de falha de energia eléctrica.

# 4 Tratamento de Dados

## 4.1 AQUISIÇÃO DE DADOS DA BIOMASSA

A quantidade de dióxido de carbono, energia e vapor de água que um determinado ecossistema é capaz de trocar com a atmosfera depende da composição do mesmo, tornando-se, neste contexto, essencial conhecer o ecossistema em análise para compreender as trocas que se sucedem.

Assim, há que identificar a composição florística do terreno e a evolução dessas populações ao longo do ano hidrológico. Tendo em conta este conhecimento, efectuou-se na pastagem em estudo as seguintes acções: a quantidade em género das espécies de plantas no terreno; a medição do Índice de Área Foliar (IAF); a Biomassa aérea e a percentagem de material morto.

A composição florística da pastagem foi determinada no mês de Maio, devido ao facto de se estar em plena Primavera e ser o momento em que se verifica o maior desenvolvimento das plantas.

O IAF foi medido mensalmente, nos meses de crescimento latente, e quinzenalmente, nos meses de rápido desenvolvimento da vegetação. Os meses de Junho, Julho, Agosto e Setembro (de 2006) não se efectuaram medições. Note-se que o IAF reporta-se ao desenvolvimento das folhas, o qual é mais significativo na Primavera. A biomassa aérea e a proporção de material morto foram analisadas, aproximadamente, uma vez por mês.

## 4.2 PROCESSAMENTO DA INFORMAÇÃO DA ESTAÇÃO DE AMOSTRAGEM

A informação relativa aos fluxos foi tratada de acordo com a Figura 16.

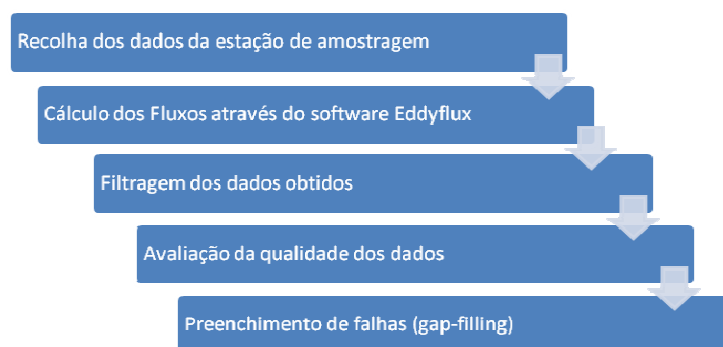


FIGURA 16: TRATAMENTO DOS DADOS.

A filtragem dos dados em análise é efectuada de forma a garantir a qualidade da informação recolhida na estação. Desta forma, a recolha é efectuada aos valores médios de 30 minutos. Os filtros aplicados a cada um dos fluxos encontram-se compilados na Tabela 4 e foram usados, sequencialmente, de acordo com a ordem da tabela, de acordo com as recomendações gerais da comissão científica do projecto CARBOEUROPE.

### Filtro $u_*$

A velocidade de fricção ( $u_*$ ) é um bom indicador da turbulência atmosférica, sendo que, se este parâmetro apresentar um valor baixo, significa que existe estratificação atmosférica e vice-versa. Contudo, a técnica de correlação turbulenta subestima este acontecimento, tornando-se, então, necessário excluir da análise os valores médios, cuja velocidade de fricção seja inferior a  $0,08 \text{ m.s}^{-1}$ .

### Filtros $\sigma^2_c$ e $\sigma\rho_v$

Os filtros  $\sigma^2_c$  e  $\sigma\rho_v$  permitem a eliminação de leituras que tenham sido efectuadas com os sensores em mau estado, como por exemplo a acumulação de poeiras ou de gotas de chuva nas janelas ópticas dos sensores.

### Filtro $\left| \overline{w} \right|$

Este filtro tem como finalidade eliminar erros de leitura provocados por má orientação do anemómetro e devido à topografia do terreno.

### Filtro dos “spikes” e violação dos limites absolutos

Os “spikes” são três pontos sucessivos numa serie temporal que apresentam um valor com uma magnitude de vários desvios dos padrões acima do valor da média móvel de 5 minutos. Geralmente estes pontos resultam de erros electrónicos, cortes no abastecimento eléctrico ou avarias de equipamento.

TABELA 4: FILTROS APLICADOS (ADAPTADO DE AIRES, 2007)

Filtro	$H$	$E$	NEE
$u_* < 0,08 \text{ m s}^{-1}$	—	—	sim
$\sigma^2 c > 0,12 \text{ mmol m}^{-2}$	—	—	sim
$\sigma \rho_v > 0,1 \rho_v$	—	sim	—
$ \overline{w'}  > 0,35 \text{ m s}^{-1}$	sim	sim	sim
<i>spikes</i> > 1% na série temporal de			
$u$	sim	sim	sim
$v$	sim	sim	sim
$w$	sim	sim	sim
$T_s$	sim	—	—
$\rho_v$	—	sim	—
$c$	—	—	sim
violação de limites absolutos > 1% na série temporal de:			
$u$	sim	sim	sim
$v$	sim	sim	sim
$w$	sim	sim	sim
$T_s$	sim	—	—
$\rho_v$	—	sim	—
$c$	—	—	sim

Após a aplicação dos filtros os dados considerados válidos foram submetidos à avaliação da sua qualidade, através do teste de estacionariedade; o teste das características do integral de turbulência; a avaliação do fecho do balanço de energia e a análise de “footprint”.

Os dois primeiros testes visam avaliar a estacionaridade de um determinado escalar num determinado período de tempo. O fecho do balanço de energia relaciona variáveis dependentes e independentes da equação do balanço de energia (Equação 1). A análise de “footprint” tem como objectivo determinar se o sistema de correlação turbulenta é influenciado por outras áreas à volta da zona em estudo.

Após a selecção e eliminação dos dados que poderiam introduzir erros significativos nos fluxos, há que preencher as lacunas provocadas pela remoção desses valores. A esse processo designa-se de “gap-filling”.

O “gap-filling” para os fluxos de energia e dióxido de carbono foram efectuados com base num algoritmo disponibilizado pelo projecto CARBOEUROPE. Contudo, para a recolha do o fluxo de  $H$  utilizou-se outra metodologia de preenchimento de falhas.

O “gap-filling” para o fluxo de  $H$  foi efectuado através do método da variação média diária. O intervalo de tempo (dias) considerado foi de 14 dias, a fim de minimizar os erros associados a variações das condições meteorológicas.

O fluxo de dióxido de carbono, sofreu, ainda, mais um processo: a partição do NEE nas suas componentes  $R_{eco}$  e GPP, que foi efectuada através de um algoritmo fornecido pelo projecto CARBOEUROPE.

### 4.3 METODOLOGIAS DE CÁLCULOS REALIZADOS

O fluxo de  $E$  (mm) não foi directamente medido através do equipamento instalado no campo. Assim para o determinar recorreu-se ao fluxo  $LE$  ( $W/m^2$ ), após o “gap-filling”, através da seguinte expressão:

$$E = \frac{LE}{L} \quad (30)$$

Onde  $L = 2,45 \times 10^{-6} \text{ J/kg}$

A evapotranspiração máxima esperada para uma superfície saturada em água pode ser obtida através da seguinte equação (31):

$$\lambda E_p = \frac{\Delta(R_n - G) + \rho C_p D / r_a}{\Delta + \gamma(1 + r_s / r_a)} \quad (31)$$

Esta equação é semelhante à equação (4) sendo os parâmetros envolvidos os descritos para essa equação. A metodologia para o referido cálculo, assim como o calculo das variáveis envolvidas foi o

recomendado em Allen et al. (1998), aconselhando-se o leitor a consultar a referida bibliografia para posteriores esclarecimentos.

O coeficiente de Priestley-Taylor foi calculado através da expressão (32):

$$\frac{\lambda E}{\lambda E_{eq}} \quad (32)$$

Onde o  $\lambda E_{eq}$  foi calculada através da fórmula (33):

$$\lambda E_{eq} = \frac{\Delta(R_n - G)}{\Delta + \gamma} \quad (33)$$

A condutância da superfície ( $g_s$  em m/s) foi calculada através da reformulação da equação de *Pennan-Monteith*, substituindo o  $\lambda E_p$  pelo  $LE$ . A condutância aerodinâmica  $g_a$  (m/s) foi calculada através da expressão (34):

$$\frac{1}{g_a} = \frac{u}{u_*^2} + 6,2u_*^{-0,67} \quad (34)$$

O coeficiente de desacoplamento foi obtido através da equação (35):

$$\Omega = \frac{(\Delta + \gamma)}{\Delta + \gamma(1 + g_a / g_s)} \quad (35)$$

As eficiências do uso da água (WUE em mmol CO<sub>2</sub> mol<sup>-1</sup> H<sub>2</sub>O) e do uso da radiação (LUE em mmol CO<sub>2</sub> mol<sup>-1</sup> quanta) foram calculadas através das expressões (30) e (37) respectivamente:

$$WUE = \frac{GPP}{E} \quad (36)$$

$$LUE = \frac{GPP}{PPFD} \quad (37)$$

Ambas as eficiências foram calculadas diariamente e posteriormente analisadas tendo em conta uma média móvel de 5 dias.

A relação entre o NEE (μmol CO<sub>2</sub> m<sup>-2</sup>s<sup>-1</sup>) e a PPFD (μmol m<sup>-2</sup>s<sup>-1</sup>) foi analisada tendo em consideração os dados de 30 minutos de elevada qualidade, de acordo com a expressão (38):

$$NEE = \frac{GPP_{max} PPFD}{K + PPFD} + R_{eco} \quad (38)$$

Através da equação (38) obtêm-se as curvas de resposta à radiação fotossintética. O valor de  $\alpha$  traduz a captura de CO<sub>2</sub> por unidade de radiação recebida no ecossistema.

A relação entre os valores nocturnos de NEE e  $R_{eco}$  e a temperatura do solo a 2 cm de profundidade foi analisada tendo em conta a expressão (39):

$$NEE_{\text{nocturno}} = a \exp(bT_s) \quad (39)$$

Em que os valores de  $a$  e  $b$  são parâmetros da regressão.

A sensibilidade do  $R_{\text{eco}}$  à temperatura do solo ( $Q_{10}$ ) avalia o comportamento do ecossistema quando a temperatura no solo sobe 10°C. Este parâmetro foi analisado utilizando a expressão (40):

$$Q_{10} = \exp(10b) \quad (40)$$



# 5. Resultados

## 5.1. A QUALIDADE DOS DADOS OBTIDOS

A qualidade dos dados obtidos foi avaliada através de um conjunto de testes, os quais já foram abordados no Capítulo 2, após a aplicação dos filtros.

### A estacionariedade e as características do integral de turbulência

Este teste baseia-se no pressuposto de duas condições que permitem agrupar os dados remanescentes da filtragem em classes de qualidade, sintetizadas na Tabela 5:

TABELA 5: CLASSES DE QUALIDADES DOS DADOS

Teste de estacionariedade (desvio %)	Teste das características do integral de turbulência (desvio %)	Classe de qualidade dos dados
$\leq 30\%$	$\leq 30\%$	0 (muito bons)
]30%; 50%]	]30 % ; 50%]	1 (bons)
$> 50\%$	$> 50\%$	2 (muito maus)

De acordo com as recomendações do projecto CARBOEUROPE-IP para um desvio de 100% deveria ser atribuída a classe 1. No entanto no presente estudo optou-se pelo desvio de 50% (mais conservativo dos dados), para compensar alguns factores topográficos não devidamente quantificados.

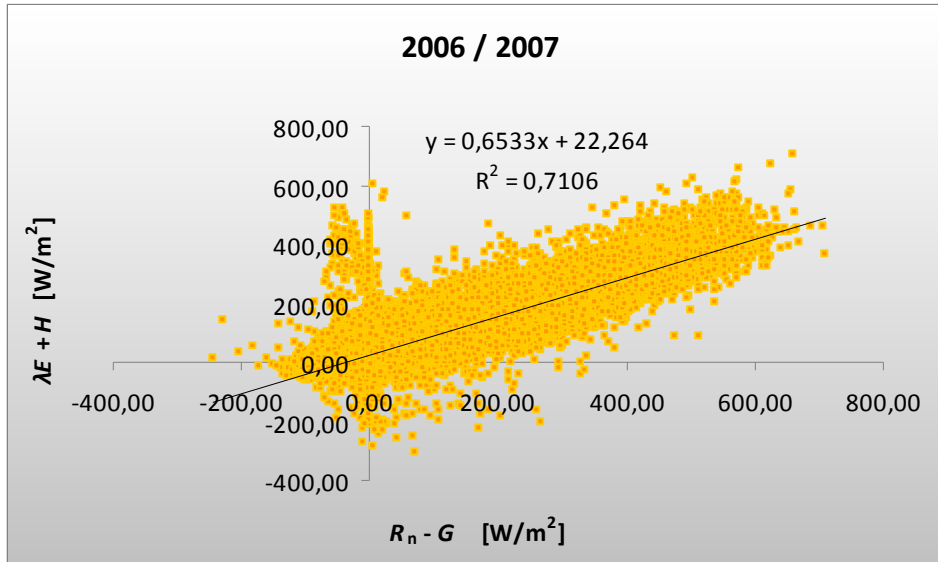
Apenas os dados de classe de qualidade 0 ficaram retidos para análise, sendo os restantes desprezados e posteriormente as lacunas preenchidas no “gap-filling”. Após a determinação da classe a que pertenciam os dados filtrados, foi possível quantificar as percentagens de dados que seriam rejeitados. Na Tabela 6 é possível observar as percentagens de dados rejeitados após as filtrações necessárias dos dados, para cada fluxo (referentes aos dois anos hidrológicos).

TABELA 6: DADOS REJEITADOS NOS DOIS ANOS HIDROLÓGICOS

Dados rejeitados (%)	Fluxos		
	H	E	NEE
	26,75	41.30	42,97

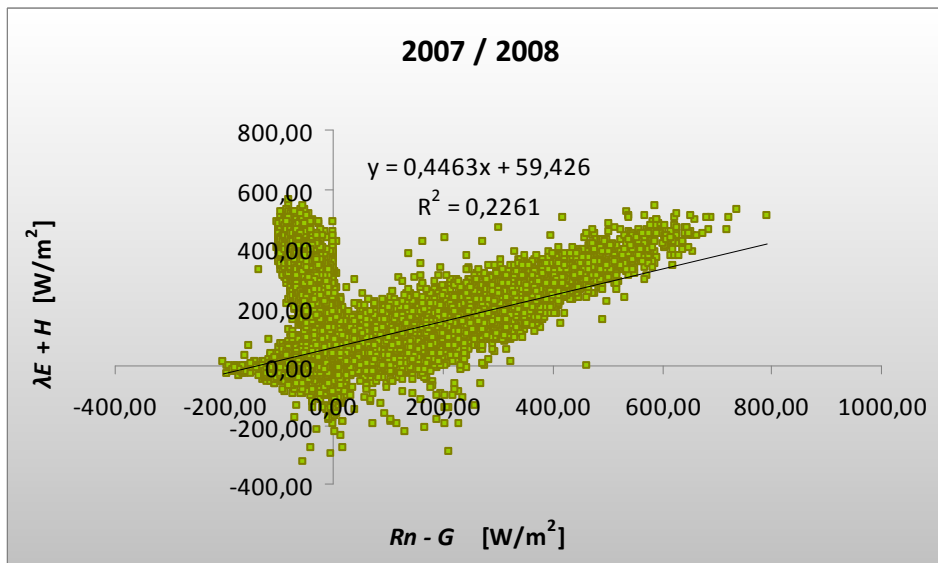
## A avaliação do fecho do balanço de energia

Este método consiste em verificar a relação entre variáveis dependentes e independentes da equação do balanço de energia. Isto é efectuado através da análise do coeficiente da regressão linear entre variáveis. Nos Gráfico 1 e Gráfico 2 verifica-se a referida relação para os dados em estudo.



**GRÁFICO 1: AVALIAÇÃO DO FECHO DO BALANÇO DE ENERGIA PARA O ANO 2006-2007**

De acordo com o Gráfico 1 no ano hidrológico de 2006-2007 o coeficiente de correlação entre as variáveis estudadas é de 0.85, o que indica que as variáveis estão fortemente relacionadas (tanto mais, quanto mais próximo for o R da unidade). Já o Gráfico 2 o coeficiente de correlação obtido mostra que no ano hidrológico de 2007-2008 as variáveis não estão fortemente relacionadas.



**GRÁFICO 2: AVALIAÇÃO DO FECHO DO BALANÇO DE ENERGIA PARA O ANO 2007-2008**

Teoricamente, o coeficiente de correlação  $R$  deveria ser equivalente à unidade, uma vez que se estão a tratar fluxos pertencentes ao mesmo balanço, sendo que a isto se denomina de fecho do balanço energético. A falta de fecho do balanço energético (isto é para baixos valores de  $R$ ) pode ser devida a várias situações, como por exemplo devido a erros sistemáticos introduzidos pelos equipamentos, ou negligência de outros sumidouros de energia. Neste estudo existem algumas contribuições que talvez sejam relevantes para a falta de fecho do balanço de modo significativo, tais como:

- Devida à utilização de apenas uma placa de medição do fluxo de calor no solo ( $G$ ), uma vez que este fluxo varia de acordo com a localização da placa no terreno (Aires; 2007);
- Existiram dias, ou períodos de dias em que o equipamento não processou devidamente, ou efectuou leituras incorrectas, devido a avarias técnicas.

## A análise de “footprint”

A informação recolhida foi agrupada em 3 classes de estabilidade atmosférica (instável, neutra e estável) de acordo com os parâmetros zeta e  $L$ , como mostra a Tabela 7. A classificação dos dados recolhidos nas classes referidas anteriormente, tanto através do parâmetro  $L$ , como do parâmetro zeta, deu origem à distribuição dos dados de acordo com a Tabela 8.

TABELA 7: CLASSES DE ESTABILIDADE ATMOSFÉRICA

Classe de estabilidade atmosférica	Parâmetros	
	zeta	$L$
Instável	Negativo	Negativo
Neutra	Zero	Tende para infinito
Estável	Positivo	Positivo

TABELA 8: DADOS OBTIDOS, AGRUPADOS DE ACORDO COM A CLASSE DE ESTABILIDADE ATMOSFÉRICA

Classe de estabilidade atmosférica	% de dados <i>L</i>	% de dados zeta
Instável (-1)	45,56%	45,56%
Neutra (0)	3,49%	3,50%
Estável (1)	50,95%	50,94%

O Gráfico 3 apresenta a localização do pico de “footprint” (distância média) de acordo com a estabilidade atmosférica dos dados. A classe neutra não foi evidenciada no texto por ser muito inferior às restantes. Observa-se que o pico “footprint” é sentido a distâncias maiores quando os dados são recolhidos em dias de maior estabilidade atmosférica.

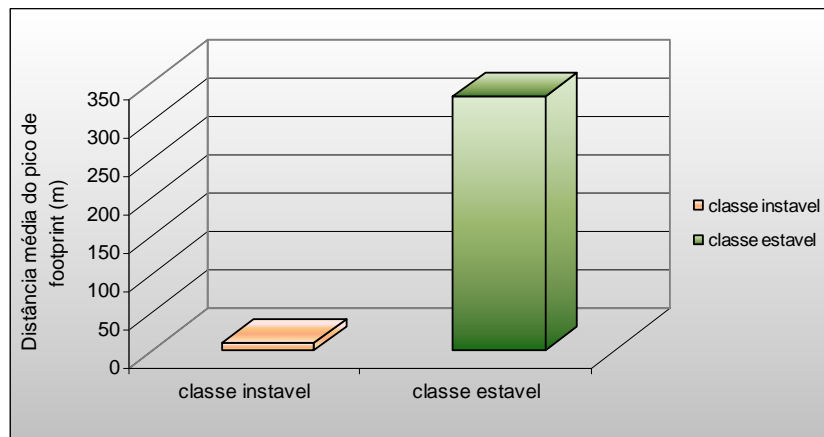


GRÁFICO 3: PICOS DE “FOOTPRINT” (BASEADOS NOS DADOS DOS DOIS ANOS HIDROLÓGICOS)

A distância à qual as condições são homogêneas, designa-se de distância “fetch”. Foi analisado a contribuição das distâncias “fetch” a 50% e 90%. De acordo com o Gráfico 4, é possível verificar que a distância “fetch” a 90% é sempre mais elevada independentemente da estabilidade atmosférica. Em condições de estabilidade atmosférica as distâncias “fetch” são maiores.

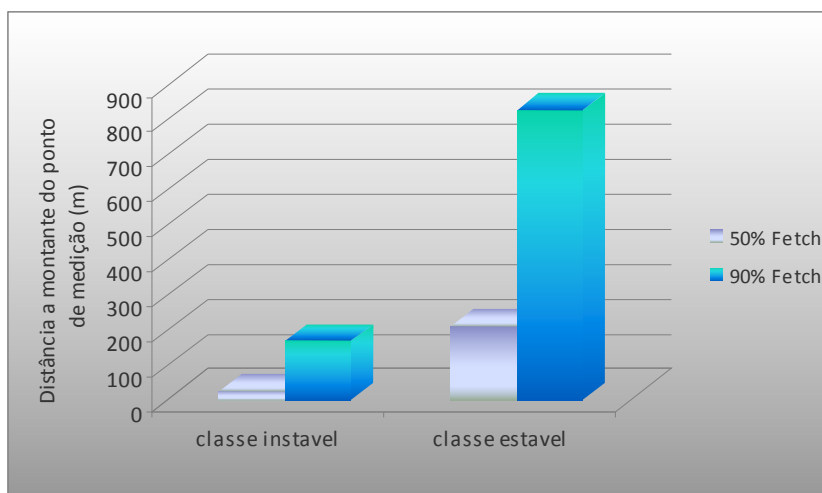


GRÁFICO 4: DISTANCIAS "FETCH" (BASEADOS NOS DADOS DOS DOIS ANOS HIDROLÓGICOS)

## 5.2 CONDIÇÕES METEOROLÓGICAS

Os anos hidrológicos estudados foram divididos em três épocas distintas considerando a sazonalidade do ciclo de vida da vegetação, como mostra a Tabela 9.

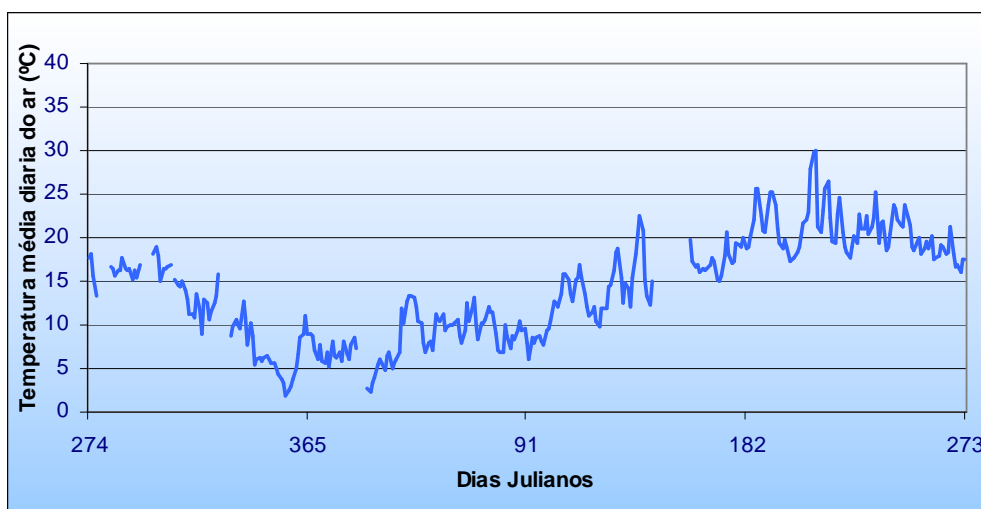
Nos anos em estudo existiram alguns períodos de tempo em que, devido a falhas técnicas não foi possível registar a maioria dos parâmetros analisados, com especial relevância para os primeiros dias de Outubro de 2006, última semana de Maio e primeira semana de Junho de 2007 e Abril de 2008.

TABELA 9: CICLO DE VIDA DA VEGETAÇÃO DA PASTAGEM PARA OS ANOS HIDROLÓGICOS EM ESTUDO

Ano hidrológico		Período de pré-crescimento		Período de crescimento		Período seco	
		Data	Dia Juliano	Data	Dia Juliano	Data	Dia Juliano
2006/2007	Início	1 Outubro 2006	274	1 Janeiro 2007	1	12 Maio 2007	132
	Fim	31 Dezembro 2006	365	11 Maio 2007	131	31 Setembro 2007	273
2007/2008	Início	1 Outubro 2006	274	1 Janeiro 2007	1	5 Junho 2008	157
	Fim	31 Dezembro 2006	365	4 Junho 2007	156	31 Setembro 2008	274

De acordo com o Gráfico 5 e Gráfico 6 verificou-se que as temperaturas mais baixas sentidas na pastagem foram nos meses de Janeiro e Fevereiro e no período de pré-crescimento. As temperaturas médias mais elevadas foram observadas nos meses de Verão e no período seco. Este comportamento era esperado, dado que, as temperaturas baixas não favorecem o desenvolvimento da vegetação, encontrando-se a mesma em estado de latência, tal como o próprio nome indica, de pré crescimento. Verifica-se, ainda, que à medida que o ano progride (fim de Inverno, recomeçando o ciclo das estações do ano) a temperatura aumenta até ao mês de Agosto, mês pleno do Verão, voltando a decrescer no final deste.

De acordo com o Gráfico 7 verifica-se que em ambos os anos as temperaturas registadas são similares, apresentando a mesma tendência (as linhas quase se sobrepõem). Observando o Gráfico 8 verifica-se que este padrão é cíclico e foi registado desde o início do funcionamento da estação de amostragem. Este padrão das temperaturas, também, era esperado uma vez que é uma característica no clima mediterrânico. As temperaturas mínimas e máximas registadas podem ser visualizadas no Gráfico 9 e foram de respectivamente, no ano 2006-2007 abaixo dos 0°C e perto dos 40°C, e de -5°C e aproximadamente 40°C, no ano 2007-2008. A maior amplitude térmica verificou-se no Verão, período seco, em ambos os anos.



**GRÁFICO 5: TEMPERATURAS MÉDIAS DIÁRIAS DO ANO HIDROLÓGICO 2006-2007**

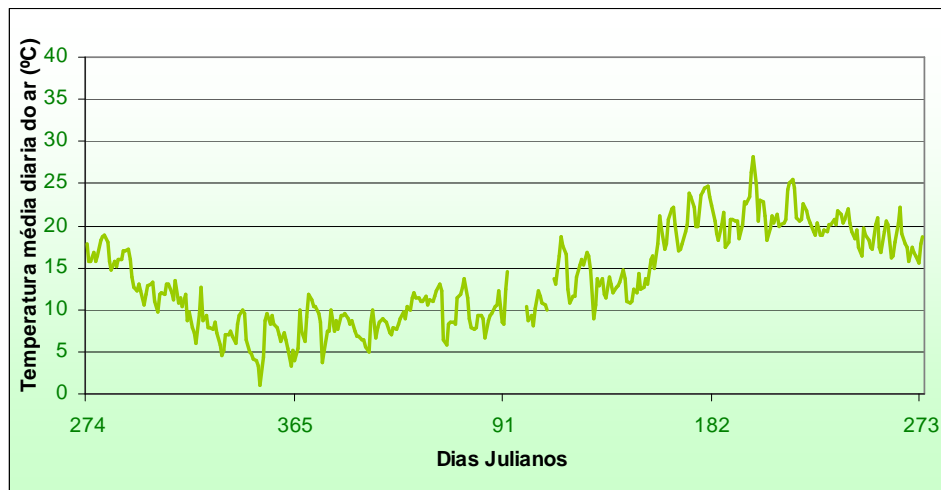


GRÁFICO 6: TEMPERATURAS MÉDIAS DÁRIAS DO ANO HIDROLÓGICO 2007-2008

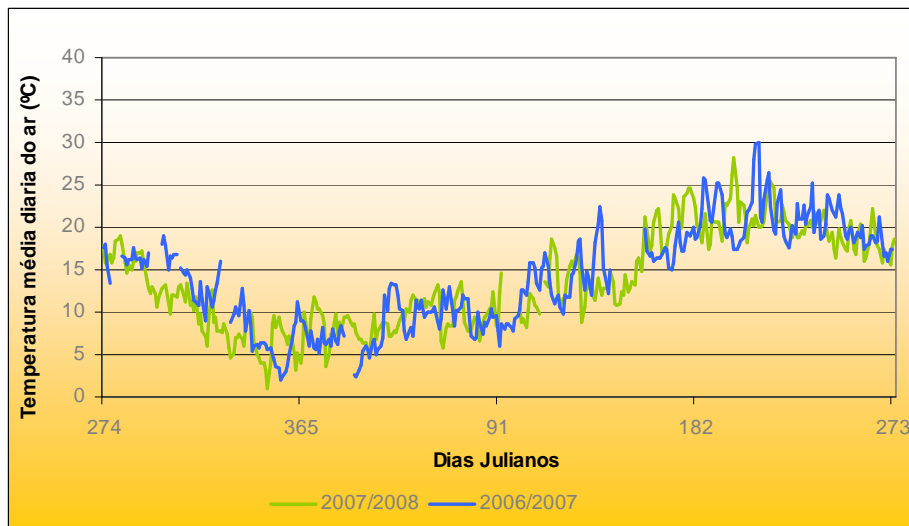


GRÁFICO 7: COMPARAÇÃO DOS PERFIS DE TEMPERATURAS (MÉDIAS DIÁRIAS) PARA OS DOIS ANOS HIDROLÓGICOS, REGISTADAS NA PASTAGEM

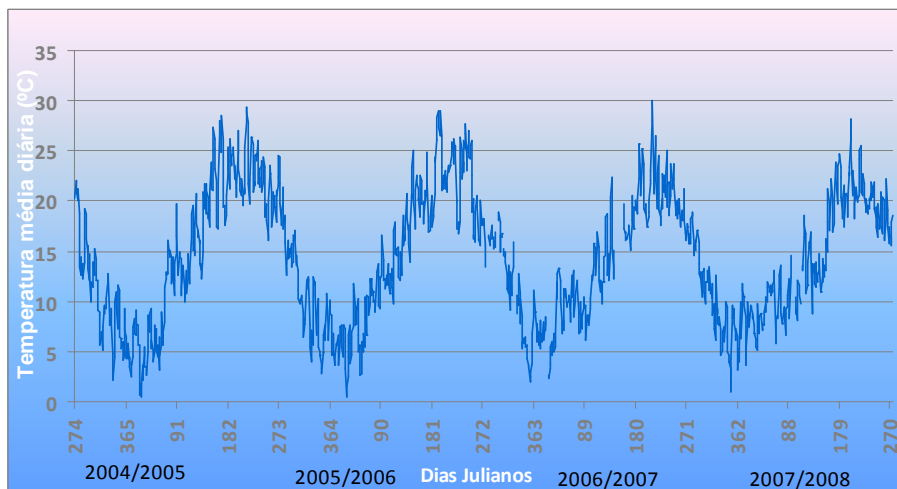


GRÁFICO 8: PERFIL DE TEMPERATURAS MÉDIAS DIÁRIAS REGISTADAS DESDE O INÍCIO DE FUNCIONAMENTO DA ESTAÇÃO.

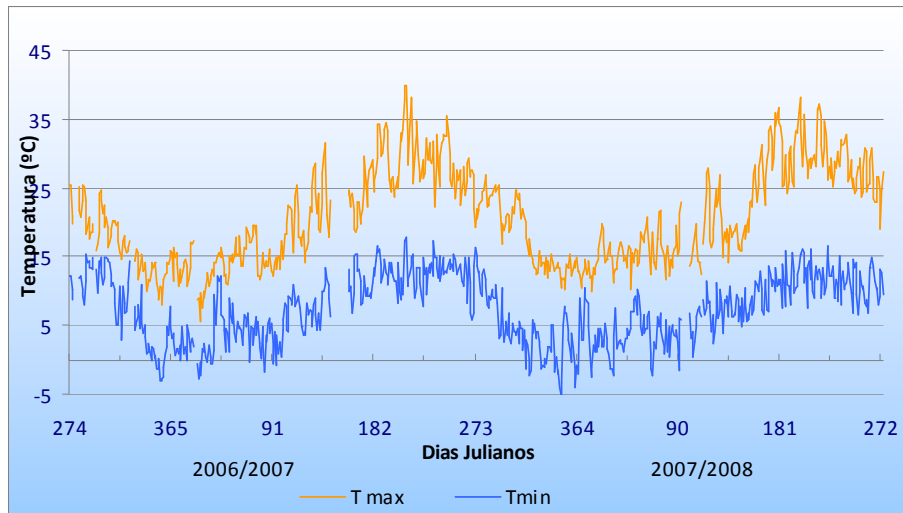


GRÁFICO 9 TEMPERATURAS MÍNIMAS E MÁXIMAS VERIFICADAS NOS ANOS HIDROLÓGICOS 2006- 2008

De acordo com o Gráfico 10 a Humidade Relativa (HR) registada no período em análise atingiu valores máximos (aproximadamente de 100%) e mínimos (abaixo dos 40%) no ano 2006-2007. O ano hidrológico de 2007-2008 mantém-se dentro dessa gama de % de HR, mas não apresenta variações tão significativas.

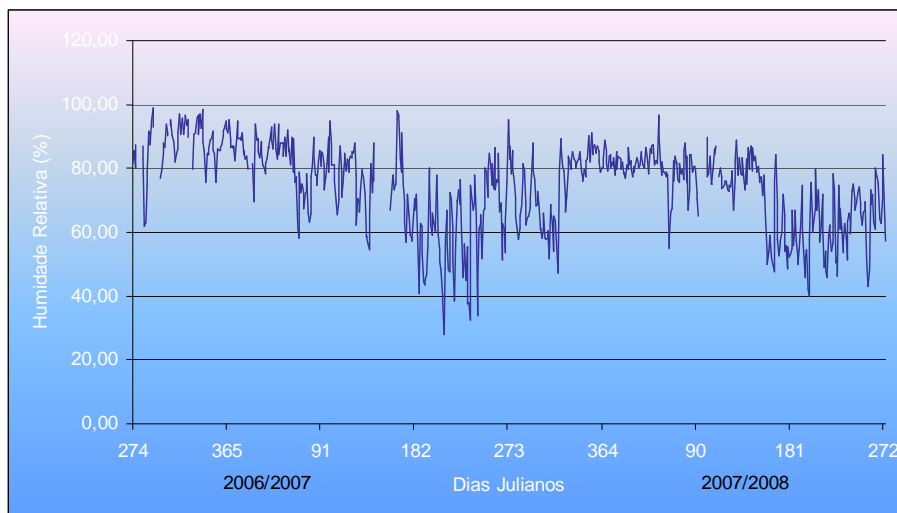
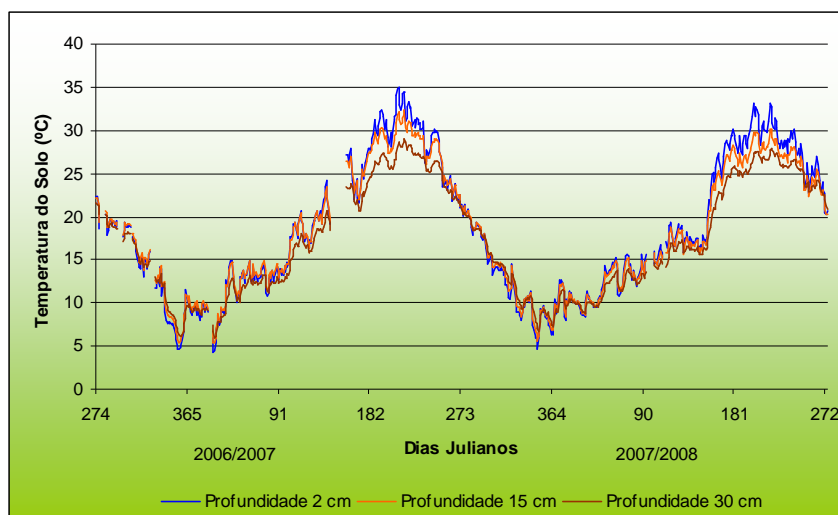


GRÁFICO 10: HUMIDADE RELATIVA DO AR REGISTADA NOS ANOS HIDROLÓGICOS EM ESTUDO (MÉDIA DIÁRIA)

As temperaturas registadas no solo seguiram um comportamento semelhante às registadas no ar, como mostra o Gráfico 11. Mesmo assim, no ano hidrológico de (2006-2007, para o mesmo pico de temperatura visualizado no Gráfico 5, em Agosto de 2007 (dia Juliano 219), também se verifica um pico semelhante nas temperaturas registadas no solo, em particular à profundidade de 2 cm. No mesmo

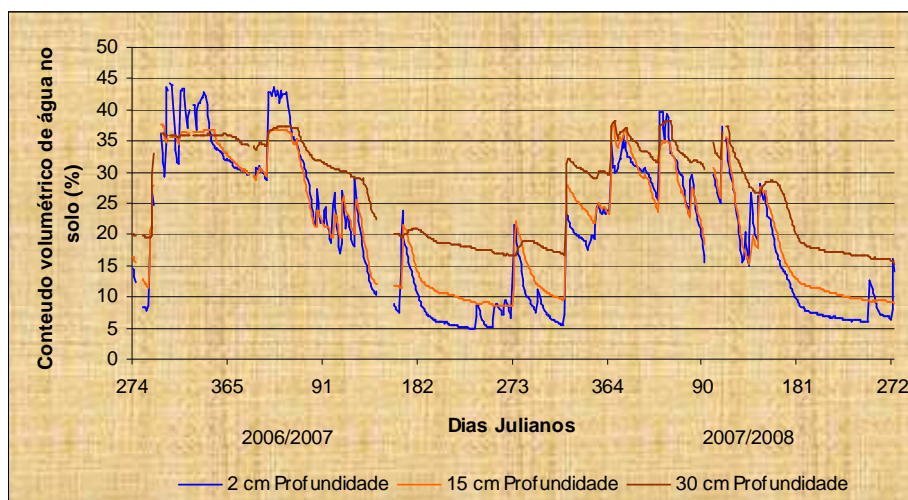


gráfico, denota-se ainda que à medida que se regista a temperatura a profundidades maiores a magnitude dos valores registados e cada vez mais baixa, mas que o comportamento do perfil de temperaturas ao longo do tempo (de cada ano hidrológico) é constante. Existe uma amplitude significativamente visível nos meses de Verão entre as temperaturas registadas à profundidade de 2 cm e 30 cm. Este comportamento era esperado, uma vez que o conteúdo volumétrico de água no solo, como é possível observar no Gráfico 12, não varia tão significativamente à profundidade de 30 cm.



**GRÁFICO 11: TEMPERATURA MÉDIA DIÁRIA REGISTADA NO SOLO A DIFERENTES PROFUNDIDADES PARA OS DOIS ANOS HIDROLÓGICOS**

O perfil do conteúdo volumétrico de água no solo no ano hidrológico em estudo está documentado pelo Gráfico 12. De um modo geral, observa-se que, os valores registados a 2 cm e a 15 cm de profundidade seguem comportamentos semelhantes (sendo elevados nos meses em que a precipitação é mais elevada e diminuindo naqueles em que existe uma quase ausência de precipitação - relação entre gráfico 9 e 10) enquanto que os valores registados à profundidade de 30 cm sugerem que o conteúdo volumétrico de água no solo, não varia tão significativamente. Esta verificação era esperada, uma vez que se existe precipitação abundante o solo fica encharcado; À medida que vai existindo ausência de precipitação a evapotranspiração aumenta, diminuindo por isso a água disponível no solo, tanto mais, quanto próximo da superfície.



**GRÁFICO 12: CONTEÚDO VOLUMÉTRICO DE ÁGUA NO SOLO A DIFERENTES PROFUNDIDADES.**

A precipitação diária ocorrida no período e análise pode ser visualizado no Gráfico 13. Verifica-se que existiram mais fenómenos de ocorrência de precipitação no ano hidrológico de 2006-2007 do que no ano seguinte.

A precipitação mais elevada do ano hidrológico 2006-2007 verificou-se nos meses de Outubro, Novembro de 2006 e Fevereiro de 2007, de acordo com o Gráfico 14. Já no ano hidrológico seguinte os meses em que existiu mais precipitação foram os de Novembro de 2007 e Fevereiro e Abril de 2008.

Analisando os Gráfico 14, Gráfico 15 e Gráfico 16 depreende-se que esse seria o comportamento esperado. Novamente, esta é uma característica intrínseca do clima mediterrâneo, onde o Outono e o início da Primavera se apresentam chuvosos.

Como mostra o Gráfico 15, o ano hidrológico 2004-2005 foi de seca, daí não se observar o pico de precipitação correspondente à Primavera (Março), época de crescimento das plantas. A evolução das condições de precipitação desde 2004 pode ser visualizada através do Gráfico 16. É possível, também, observar que o ano hidrológico 2004-2005 apresenta os valores mais baixos de precipitação; seguido do ano 2005-2006 com valores de precipitação ligeiramente superiores. O ano 2006-2007 foi aquele em que ocorreu maior precipitação, nomeadamente nos meses de Outubro, Novembro e Dezembro. Simultaneamente, é possível verificar que o ano hidrológico de 2007-2008 apresenta os valores mais baixos de precipitação dos meses Outubro, Novembro e Dezembro, desde o início do estudo (Outubro de 2004).

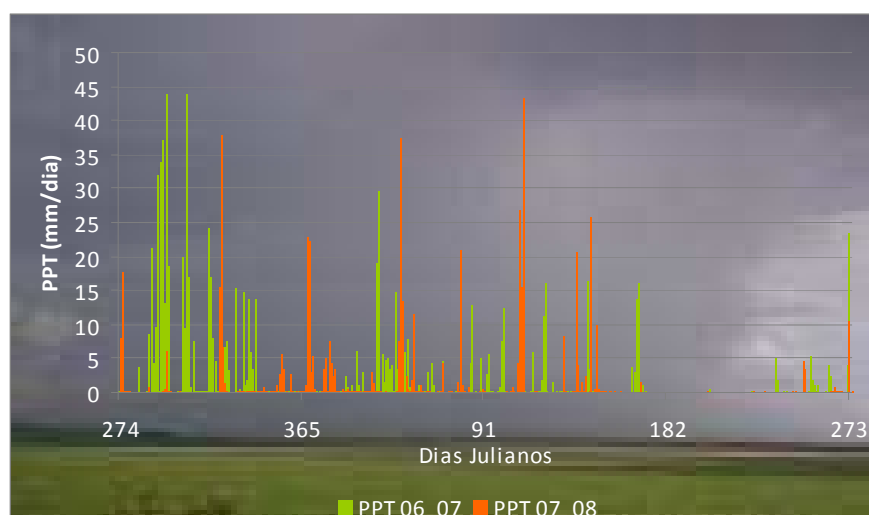


GRÁFICO 13: PRECIPITAÇÃO DIÁRIA OCORRIDA NOS ANOS HIDROLÓGICOS DE 2006-2007 E 2007-2008.

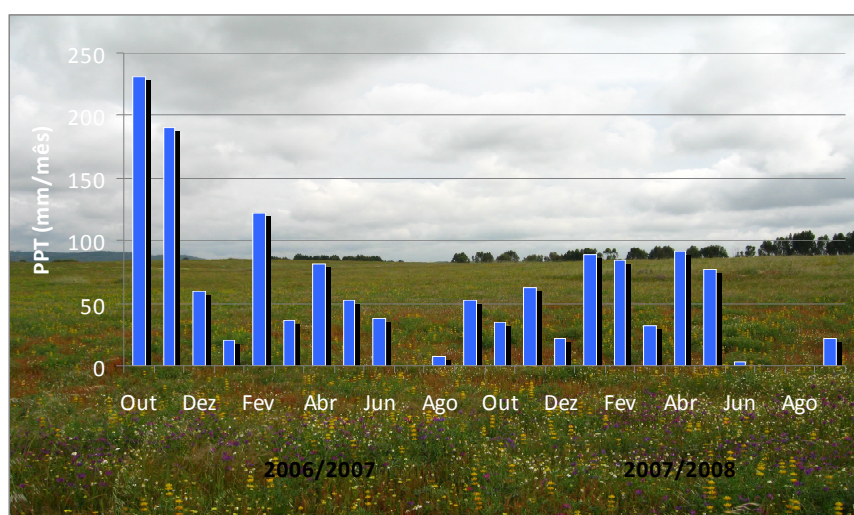


GRÁFICO 14: PRECIPITAÇÃO MENSAL VERIFICADA DESDE OUTUBRO DE 2006 A SETEMBRO DE 2008 .

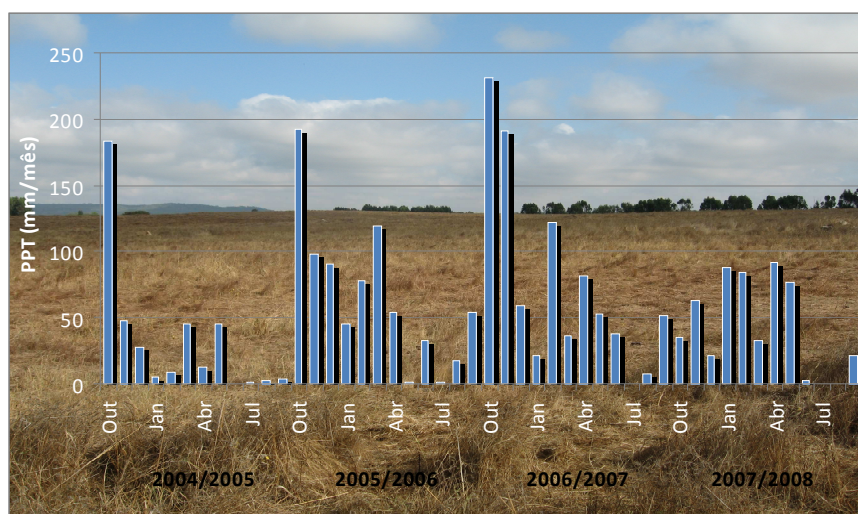


GRÁFICO 15: PRECIPITAÇÃO MENSAL REGISTADA DA PASTAGEM DESDE OUTUBRO DE 2004 ATÉ SETEMBRO DE 2008

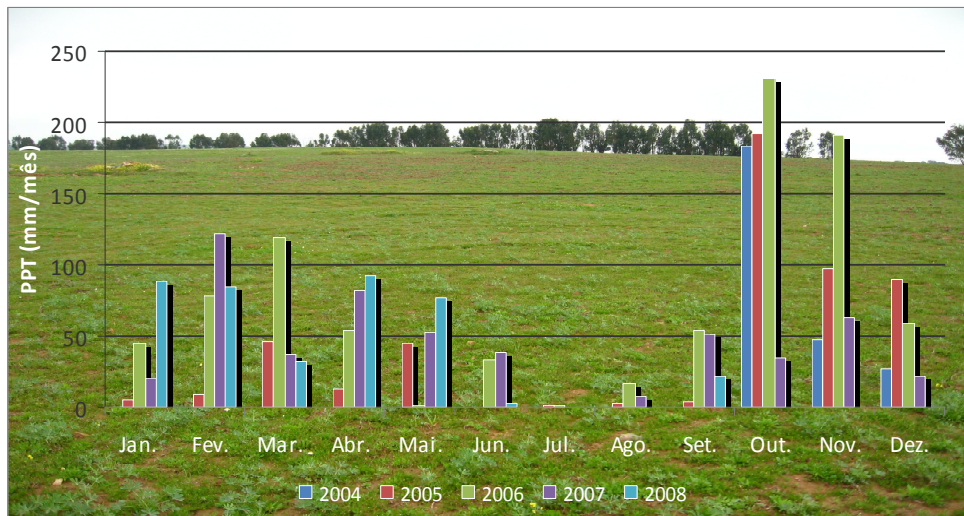


GRÁFICO 16: COMPARAÇÃO MENSAL DA OCORRÊNCIA DE PRECIPITAÇÃO DESDE OUTUBRO DE 2004 ATÉ SETEMBRO DE 2008

De um modo geral verificou-se que quanto maior a temperatura média do ar, menor a humidade relativa do ar registada, maiores as temperaturas no solo às diferentes profundidades e menor o conteúdo volumétrico de água no solo. Nos meses de Verão registaram-se menores valores de precipitação e maiores temperaturas.

A direcção predominante dos ventos nos anos em estudo foi de Noroeste (NW) e Este (E), como é possível observar no Gráfico 17.

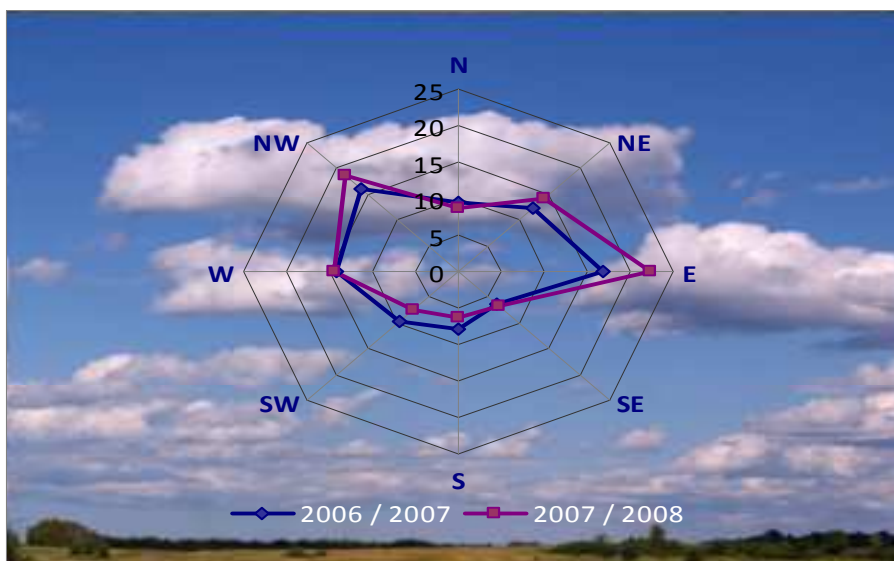


GRÁFICO 17: DISTRIBUIÇÃO ANUAL DAS FREQUÊNCIAS DA DIRECÇÃO DO VENTO NOS ANOS HIDROLÓGICOS DE 2006-2008



### 5.3. VEGETAÇÃO

Na Tabela 10 estão identificadas as espécies que caracterizam o coberto vegetal da pastagem dos anos hidrológicos em estudo e do ano hidrológico anterior a estes. Verifica-se que foi no ano hidrológico de 2006-2007 que foi identificado um maior número de espécies. De acordo com Aires (2007) a composição florística do ano hidrológico 2005-2006 foi superior ao do ano hidrológico 2004-2005. Isto revela que todos os anos a composição florística da pastagem variou, tendo surgido inclusive novas espécies.

Das espécies identificadas no ano 2006-2007 as mais abundantes foram as C3 *Vulpia bromoides*, *Leontodon taraxacoides* (Figura 17) *Cynodon dactylon* (Figura 18) e *Tolpis barbata*. No ano de 2007-2008 as espécies que predominaram foram *Spergula arvensis*, *Rumex bucephalophorus*, *Chamaemelum fuscatum* e *Lupinus luteus* (Figura 12 e Figura 13). A única espécie C4 identificada foi a *Cynodon dactylon*. As espécies C3 começaram a surgir no início do ano hidrológico, com as primeiras chuvas e a C4 identificada, começou a desenvolver-se no final de Maio.

A grande variedade de espécies identificadas, justifica-se pelo facto das pastagens mediterrânicas serem muito sensíveis à precipitação, tornando-se natural que em anos de maior precipitação surja uma maior variedade de espécies no solo, como foi o verificado.



FIGURA 17 : LEONTODON TARAXACOIDES



FIGURA 18: CYNODON DACTYLON (PLANTA COM FLORES BRANCAS E RAMOS PEQUENINOS)

TABELA 10: COMPOSIÇÃO FLORÍSTICA DA PASTAGEM (% DE CADA ESPÉCIE)

Espécie Identificada	2005- 2006	2006- 2007	2007-
<i>Aegilops geniculata</i> Roth		0,36	
<i>Agrostis pourretii</i> Willd.		2,28	
<i>Andryala integrifolia</i> L.			0,17
<i>Avena barbata</i> Link subsp. Lusitanica (Tab. Mor.) Romero Zarco	7,00	4,45	0,92
<i>Avena sterilis</i> sp. <i>Sterilis</i> L.			0,34
<i>Briza maxima</i> L.			0,59
<i>Bromus diandrus</i> Roth		5,53	
<i>Bromus hordeaceus</i> L.	1,67	1,68	
<i>Carlina racemosa</i> L.		0,34	0,42
<i>Chaetopogon fasciculatus</i> (Link) Hayek		5,17	
<i>Chamaemelum mixtum</i> (L.) All.	4,50	2,64	
<i>Chamaemelum fuscatum</i> (Brot.) Vas.			10,64
<i>Cichorium intybis</i> L.			0,67
<i>Crepis vesicaria</i> L. ssp. <i>Haenseleri</i> (DC.) P.D. Sell	5,33	0,48	0,25
<i>Cynodon dactylon</i> (L.) Pers.	10,00	9,38	5,61
<i>Diploaxis catholica</i> (L.) Pers.			2,18
<i>Echium plantagineum</i> L.	3,67	3,37	0,42
<i>Eryngium campestre</i> L.		0,36	
<i>Galactites tomentosa</i> Moench		0,36	0,17
<i>Gaudinia fragilis</i> (L.) P. Beauv.		3,25	
<i>Gynandrisis sisyrinchium</i> (L.) Parl.		0,36	0,42
<i>Hypochaeris radicata</i> L.			0,84
<i>Hordeum murinum</i> L. subsp. <i>Leporinum</i> (Link) Arcangeli	0,83	0,12	
<i>Leontodon taraxacoides</i> (Vill.) Merat		10,1	1,51
<i>Logfia gallica</i> (L.) Coss. & Germ.		0,12	0,25
<i>Lotus hispidus</i> Desf. ex DC. in Lam. et DC.		0,84	
<i>Lupinus luteus</i> L.			9,21
<i>Medicago sativa</i> L.	10,33		
<i>Medicago polymorpha</i> L.	4,83	0,36	0,08
<i>Ornithopus compressus</i> L.	6,33	0,36	0,34
<i>Parentucellia viscosa</i> (L.) Caruel	5,50	3,49	
<i>Phalaris coerulescens</i> Desf.	1,67	0,96	
<i>Plantago coronopus</i> L.		1,08	1,17
<i>Plantago lanceolata</i> L.		0,48	0,25
<i>Rumex bucephalophorus</i> L.	3,50	0,48	12,73
<i>Silene gallica</i> L.		2,64	8,71
<i>Senecio vulgaris</i> L.			0,67
<i>Spergula arvensis</i> L.		0,24	29,65
<i>Spergularia purpurea</i> (Persoon) G. Don fil.			3,77
<i>Stachy arvensis</i>			0,17
<i>Taeniatherum caput-medusa</i> (L.) Nevski		1,56	
<i>Tolpis barbata</i> (L.) Gaertner	1,67	9,01	0,25
<i>Trifolium arvense</i> L.		1,2	
<i>Trifolium campestre</i> Schreber in Sturm		2,04	
<i>Trifolium resupinatum</i> L.	6,67	2,16	0,67
<i>Trifolium subterraneum</i> L.	7,33	2,16	0,08
<i>Vicia lutea</i> L.		0,36	
<i>Vicia sativa</i> L.			0,25
<i>Vulpia bromoides</i> (L.) S.F. Gray	6,67	12,26	4,10
<i>Vulpia geniculata</i> (L.) Link	12,50	7,81	2,51

A Biomassa Aérea (AGB) e o Índice de Área Foliar (IAF) alcançaram picos de crescimento nos meses de Abril e Maio, evidenciando o período de crescimento das plantas (Gráfico 18 e Gráfico 19). Verifica-se contudo que enquanto nos anos de 2005-2006 e 2006-2007 os picos do IAF verificam-se nos meses de Abril, no ano 2007-2008 o IAF só apresenta um pico semelhante no final de Maio. Ao observar o Gráfico 20 verifica-se que existem 2 picos de matéria morta em 2006-2007: um em Maio e outro em Julho (um relacionado com a morte da comunidade de plantas C3 e outro com as C4), enquanto que no ano 2007-2008 só se verifica um pico de matéria morta em finais de Agosto. Isto pode ser justificado pelo prolongamento da estação de crescimento (do ano 2007-2008) até Junho, enquanto que nos anos anteriores a estação de crescimento findou em Maio. Do mesmo modo, a estação seca iniciou-se mais tarde em 2007-2008 o que justifica a tendência e o pico de matéria morta observados no Gráfico 20 no Verão de 2008.

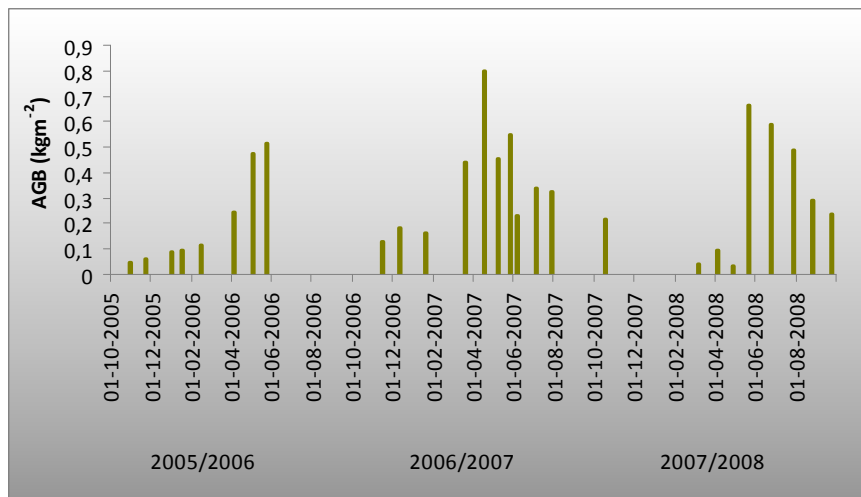


GRÁFICO 18: BIOMASSA AÉREA (AGB) REGISTADA DESDE OUTUBRO 2005 ATÉ SETEMBRO DE 2008

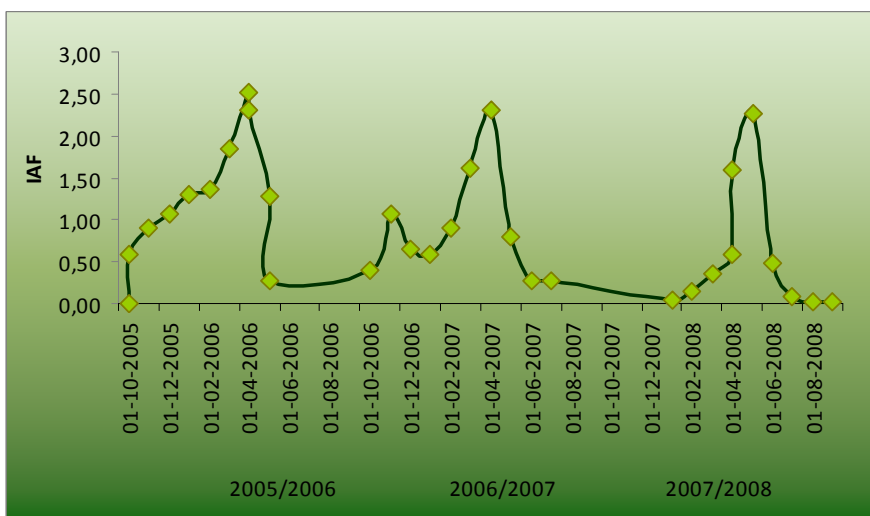


GRÁFICO 19: ÍNDICE DE ÁREA FOLIAR (IAF) REGISTADO DESDE OUTUBRO 2005 ATÉ SETEMBRO DE 2008

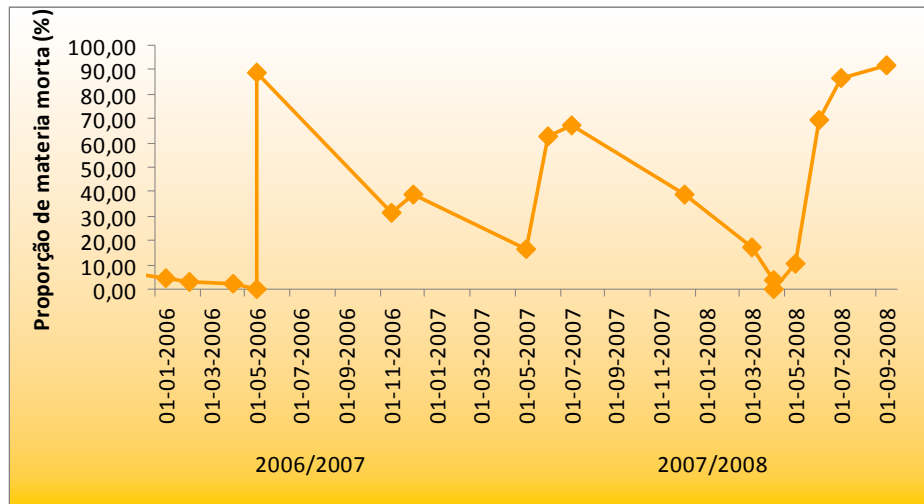


GRÁFICO 20 : PROPORÇÃO DE MATÉRIA MORTA OBSERVADA NA PASTAGEM DESDE O ANO HIDROLÓGICO 2005-2006 ATÉ 2007-2008

## 5.4 VARIAÇÃO INTER-ANUAL E SAZONAL DA TRANSFERÊNCIA DE ENERGIA E VAPOR DE ÁGUA

### Variação dos fluxos de energia

A variação dos fluxos de energia pode ser visualizada nos Gráfico 21, Gráfico 22 e Gráfico 23. De um modo geral verifica-se que os fluxos  $H$  e  $LE$  seguem a mesma evolução, andando ligeiramente desfasados. O fluxo  $G$  é aquele que apresenta variações de menores amplitudes. No entanto todos os fluxos seguem o comportamento do gráfico do balanço  $R_n$ : à medida que se verifica o aumento de  $R_n$ , aumenta o fluxo  $G$  e os fluxos  $H$  e  $LE$ .



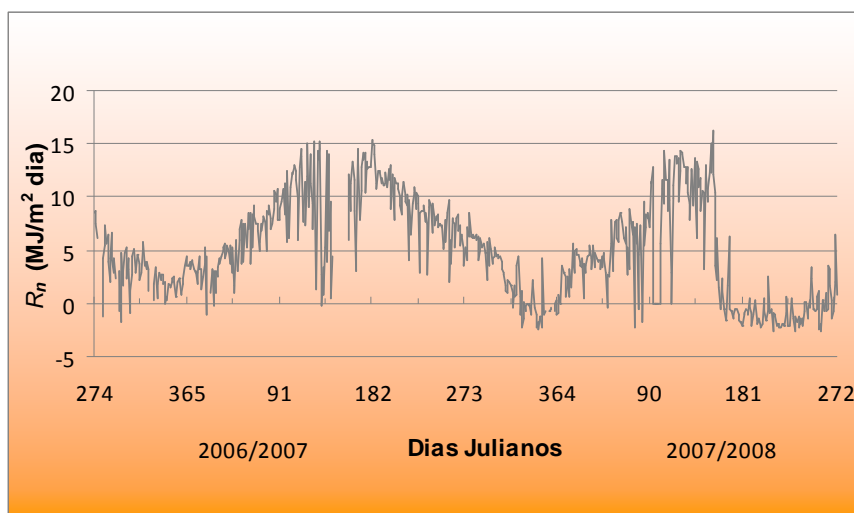


GRÁFICO 21: BALANÇO DA RADIAÇÃO ( $R_n$ ) NOS ANOS 2006-2007 E 2007-2008 (VALORES MÉDIOS DIÁRIOS)\*

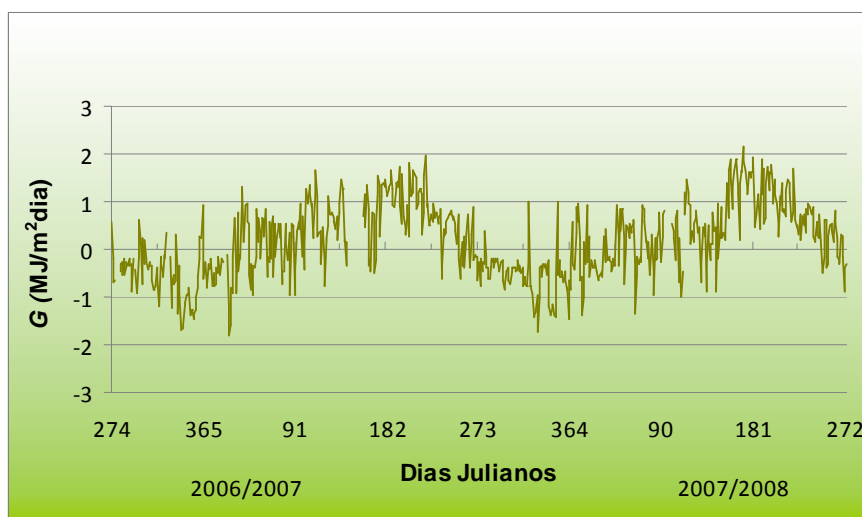


GRÁFICO 22: FLUXO DE CALOR NO SOLO ( $G$ ) REGISTADO NOS ANOS 2006-2007 E 2007-2008 (VALORES MÉDIOS DIÁRIOS)

Os valores mais baixos registados do fluxo de calor no solo ( $G$ ) verificaram-se nas estações de Outono e Inverno, atingindo valores negativos. Isto significa que o solo estava a perder calor para a atmosfera o que era um comportamento esperado, uma vez que nestas estações do ano as temperaturas do ar diminuem cada vez mais, e existe também a progressiva redução da exposição solar (diminuindo a quantidade de radiação que atinge o solo). De modo semelhante, à medida que o ano hidrológico avança, aumenta gradualmente a exposição solar e a temperatura. Consequentemente a atmosfera vai aquecendo e transferindo parte dessa energia para o solo, fazendo com que os valores do  $G$  aumentem.

\* Após o dia Juliano 150 de 2008 o equipamento de medição da radiação avariou, e daí as medições apresentarem valores negativos. Estes valores não devem ser tomados em consideração.

Os fluxos de  $LE$  e  $H$  atingiram picos máximos em Abril e Junho respectivamente, e picos mínimos Dezembro. Os mínimos negativos do fluxo de  $H$  traduzem a transferência de energia entre o ecossistema e a atmosfera: o ecossistema perde calor. Verifica-se ainda que sensivelmente a partir de Junho (dia Juliano 181) o fluxo  $H$  ultrapassa o fluxo de  $LE$  e à medida que o fluxo de  $H$  aumenta o de  $LE$  diminui (as linhas de tendência são similares, mas encontram-se desfasadas no tempo).

No fim do período de crescimento das plantas, situa-se o pico de  $LE$ . Por sua vez o pico de  $H$  só é verificado no período seco. Isto era esperado, uma vez que é o fluxo de  $LE$  que influencia a evapotranspiração das plantas. Ora se é no período de crescimento das plantas que estas têm maiores taxas de evapotranspiração, é neste período que o fluxo de  $LE$  é maior. À medida que se avança para a estação seca, a evapotranspiração vai progressivamente diminuindo, logo o fluxo de  $LE$  também.

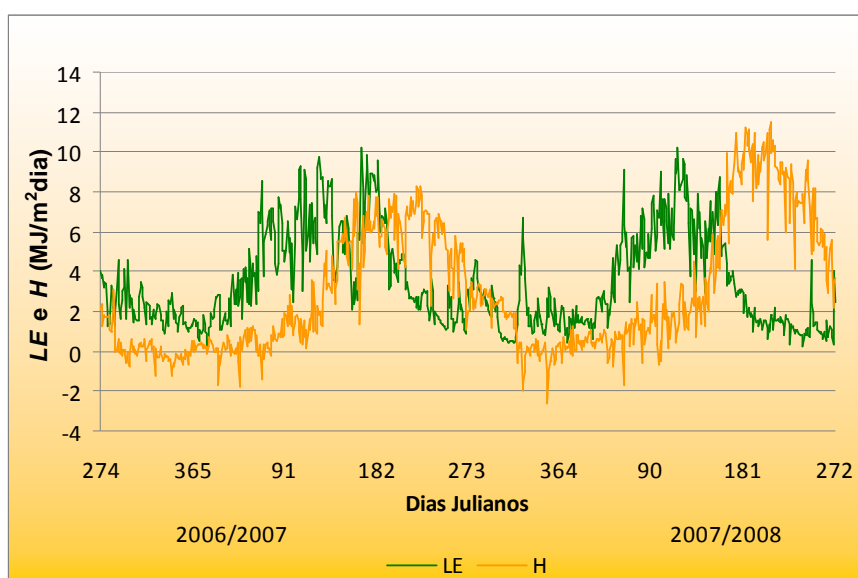


GRÁFICO 23: FLUXOS DE CALOR LATENTE E SENSÍVEL REGISTRADOS NOS ANOS 2006-2007 E 2007-2008 (VALORES MÉDIOS DIÁRIOS)

A Tabela 11 apresenta de forma sucinta os principais parâmetros meteorológicos e biometeorológicos relativos ao ano em estudo, registados para as diferentes fases de desenvolvimento das plantas. As temperaturas do ar e do solo (a 20 cm de altura e 15 cm de profundidade respectivamente) mais elevadas foram registadas no período seco e as mais baixas no período de crescimento. A maior ocorrência de PPT no ano 2006-2007 teve lugar no período de pré-crescimento, e no ano de 2007-2008 choveu mais no período de crescimento. Concomitantemente as maiores % de  $\theta_v$  a 15 cm foram também no período de pré crescimento de 2006-2007 e crescimento de 2007-2008.

TABELA 11: ALGUNS PARÂMETROS ANALIZADOS DURANTE O ESTUDO

Parâmetros	Ano Hidrológico 2006-2007			Ano Hidrológico 2007-2008		
	Pré-crescimento	Crescimento	Seco	Pré-crescimento	Crescimento	Seco
$T$ (°C)	11,6	10,3	20,2	10,4	10,4	20,2
$T_{\text{solo } 20 \text{ cm}}$ (°C)	14,3	14,0	27,3	13,2	13,4	26,2
$R_s$ (MJ/m <sup>2</sup> )	8540	27213	32064	1113	2390	2960
PPT (mm)	481,0	301,4	90,4	119,6	372,8	24,0
$\theta_v$ a 15cm(%)	31,7	27,1	11,1	18,4	27,8	11,7
$D$	1,92	1,79	4,06	2,12	1,79	4,24
$R_n$ (MJ/m <sup>2</sup> )	247,4	967,8	1080	204,9	1035	-63,6
$G$ (MJ/m <sup>2</sup> )	-41,3	20,2	73,7	-50,1	17,6	89,7
$H$ (MJ/m <sup>2</sup> )	18,2	197,8	703,9	107,3	195,9	936,6
$\lambda E$ (MJ/m <sup>2</sup> )	198,7	713,7	462,8	190,7	729,2	240,9
$G/R_n$	-0,17	0,02	0,07	-0,24	0,02	-1,41
$H/R_n$	0,07	0,20	0,65	0,52	0,19	-14,74
$\lambda E/R_n$	0,80	0,74	0,43	0,93	0,70	-3,79
$B$	0,09	0,28	1,52	0,56	0,27	3,89
$E$ (mm)	81,1	229,6	249,5	77,8	297,6	98,3
$E_p$ (mm)	91,0	213,8	305,6	215,7	467,8	130,3
$E_{eq}$ (mm)	170,2	487,3	731,6	155,1	582,3	-108,8
$E/PPT$	0,17	0,76	2,76	0,65	0,80	4,10
$E/E_{eq}$	0,48	0,47	0,34	0,50	0,51	-0,90
$g_s$ (m/s)	-0,02	-0,03	0,003	0,04	0,02	-0,0002
$\Omega$	0,658	0,655	0,574	0,532	0,739	-0,509

A repartição da energia ( $R_n$ ) pelos seus fluxos componentes  $G$ ,  $H$  e  $LE$  para os anos em estudo, foi estudada e encontra-se representada nas linhas 11 a 13 da tabela. Em ambos os anos hidrológicos nos períodos de pré-crescimento e crescimento é a fracção  $LE/R_n$  que mais influencia o balanço de  $R_n$ . No período seco a fracção que mais peso tem é a de  $H$ . Nota-se ainda que as fracções de  $H/R_n$  e  $LE/R_n$  variam de modo inverso. A fracção menos significativa é a do  $G$ . Pode-se observar que a fracção mínima de  $G/R_n$  em 2006-2007 ocorre no período de pré-crescimento e a máxima no período seco.

Para avaliar a variação inter-anual e sazonal dos fluxos de energia seleccionaram-se 3 períodos distintos dos anos hidrológicos em estudo: os meses de Janeiro, Abril e Junho. A escolha dos meses a ser analisados teve em conta os períodos de pré-crescimento, crescimento e seco das plantas, assim como a análise efectuada por Aires (2007) para a mesma pastagem (do Gráfico 24 ao Gráfico 29).

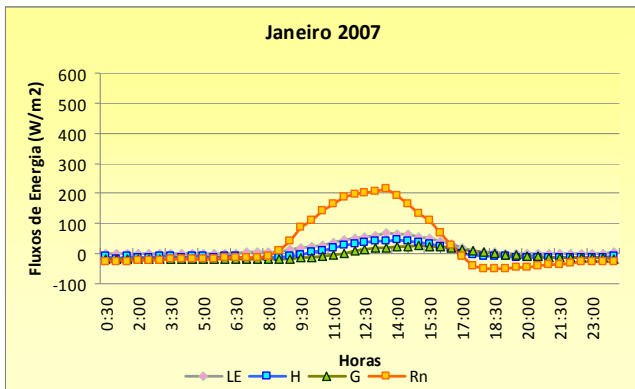


GRÁFICO 24: FLUXOS MÉDIOS HORÁRIOS DO MÊS DE JANEIRO 2007

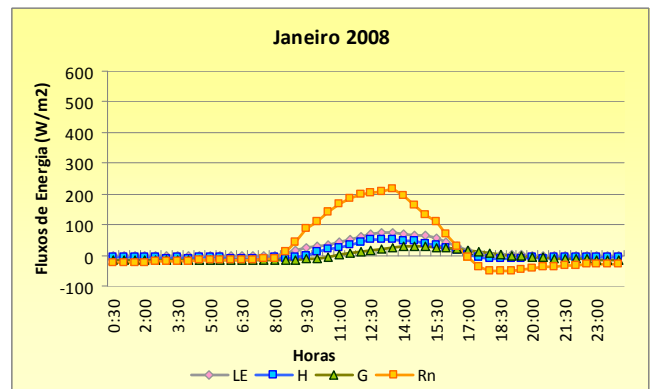


GRÁFICO 25: FLUXOS MÉDIOS HORÁRIOS DO MÊS DE JANEIRO 2008

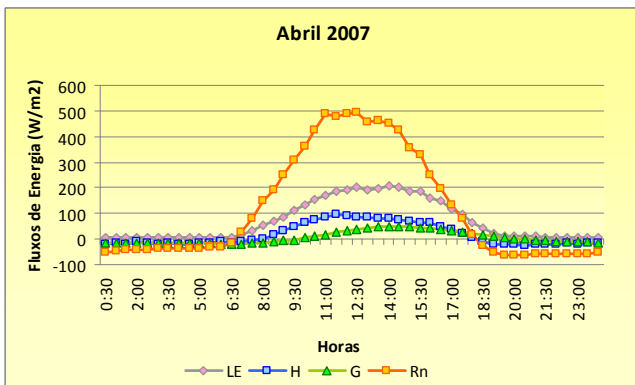


GRÁFICO 26: FLUXOS MÉDIOS HORÁRIOS DO MÊS DE ABRIL 2007

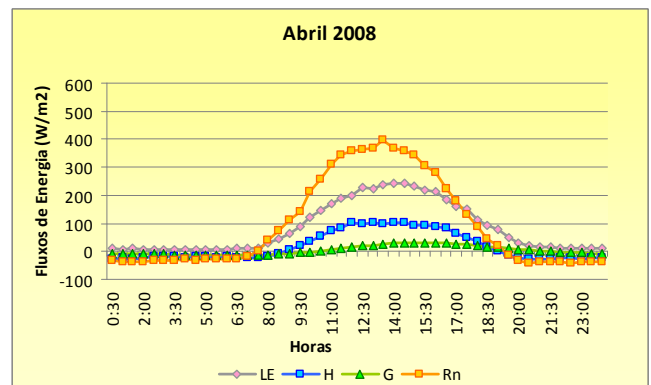


GRÁFICO 27: FLUXOS MÉDIOS HORÁRIOS DO MÊS DE ABRIL 2008

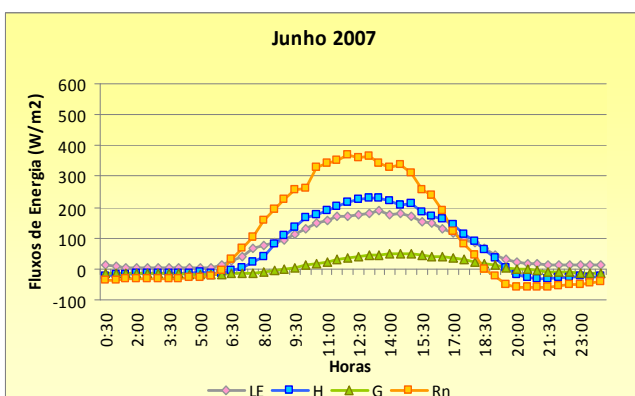


GRÁFICO 28: FLUXOS MÉDIOS HORÁRIOS DO MÊS DE JUNHO 2007

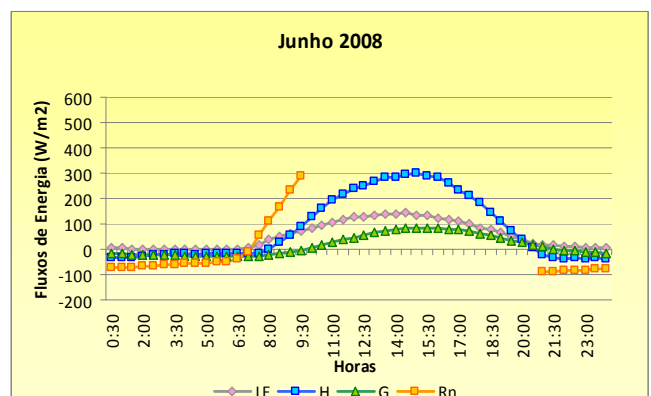


GRÁFICO 29: FLUXOS MÉDIOS HORÁRIOS DO MÊS DE JUNHO 2008

Para os anos hidrológicos de 2006-2007 e 2007-2008 verifica-se que os fluxos de energia apresentam um comportamento inter-anual semelhantes, variando apenas na magnitude, com a excepção do mês de Junho de 2008, no caso de  $R_n$ . Verifica-se que no ano de 2006-2007 a magnitude dos fluxos foi mais elevada. Em ambos os anos os picos dos fluxos analisados ocorreram no início da tarde.

Na variação sazonal encontram-se diferenças significativas da magnitude dos fluxos. Em ambos os anos verifica-se um aumento da magnitude dos fluxos medidos entre Janeiro e Abril (os picos máximos de radiação situam-se entre os 200 e 250 W/m<sup>2</sup> em ambos os meses de Janeiro; em Abril aumentam para os 500 e 400 W/m<sup>2</sup> em Abril de 2007 e Abril de 2008). No mês de Junho os fluxos são mais baixos que os registados em Abril. Em Junho (de ambos os anos) o fluxo de  $H$  ultrapassa claramente os restantes, excepto o da radiação ( $R_n$ ). Nos meses de Janeiro o fluxo de radiação demarca-se dos restantes; os fluxos de  $LE$  e  $H$  têm magnitudes muito semelhantes e o fluxo de  $G$  é o mais baixo. Nos meses de Abril acentua-se a diferença entre as magnitudes dos fluxos de  $H$  e  $LE$ , prevalecendo o segundo. Nos meses de Junho este padrão altera-se: o fluxo de  $H$  é de maior magnitude que o fluxo  $LE$ , e a diferença entre ambos é notória.

## Variação da evapotranspiração

A variação da evapotranspiração pode ser visualizada no Gráfico 31. A evapotranspiração máxima ocorre no período crescimento e a mínima no período de pré crescimento. Os valores de evapotranspiração são similares no início da estação de pré crescimento (início do ano) e no fim da estação seca (fim do ano). Seria de esperar que após a senescência das plantas a evapotranspiração diminui-se, o que se verificou contudo depois voltou a aumentar. Se se comparar este gráfico com o gráfico onde estão representados os conteúdos volumétricos de água no solo, verifica-se que simultaneamente o conteúdo de água no solo é baixo. Isto pode ser considerado um indicador da actividade das plantas C4, dado que esta plantas têm a capacidade de ter as raízes a maior profundidade, beneficiando assim do usufruto de mais água do que aquela que existe à superfície do solo.

No Gráfico 31 estão representadas a evapotranspiração e a evapotranspiração potencial (evapotranspiração máxima para uma superfície saturada de água). Verifica-se que as linhas que representam estas variáveis praticamente se sobrepõem. Os picos de evapotranspiração potencial observados, podem ser relacionados com eventos de precipitação, uma vez que esta variável é um bom indicador da disponibilidade de água no solo.

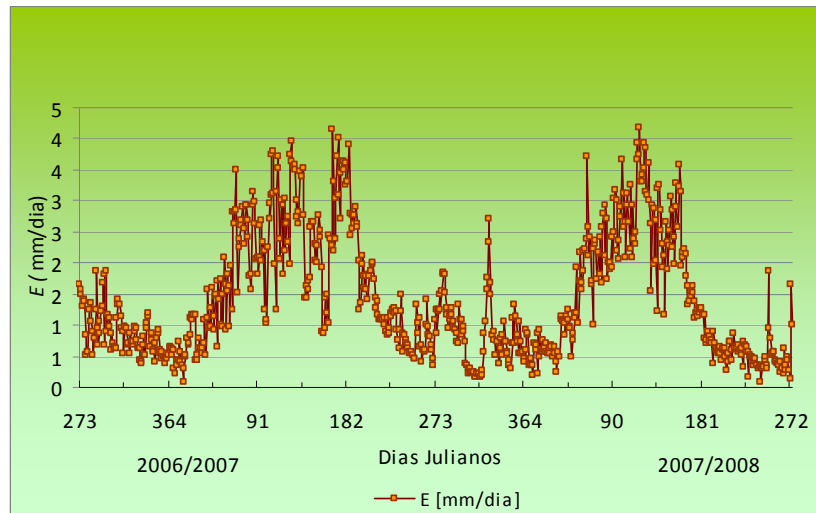


GRÁFICO 30: EVAPOTRANSPIRAÇÃO (MÉDIA) DIÁRIA NOS ANOS HIDROLÓGICOS 2006-2007 E 2007-2008

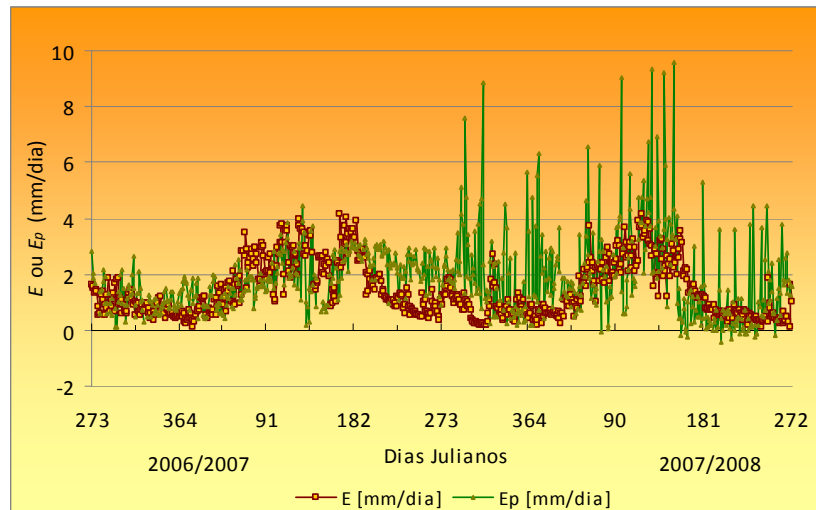


GRÁFICO 31: EVAPOTRANSPIRAÇÃO E EVAPOTRANSPIRAÇÃO POTENCIAL (VALORES MÉDIOS DIÁRIOS) REGISTADAS DE OUTUBRO DE 2006 A SETEMBRO DE 2008

O Gráfico 32 evidencia os valores acumulados da Precipitação (PPT) e da evapotranspiração (E). Os valores totais foram de 849 mm e 561 mm para 2006-2007 e de 540 mm e 474 mm para 2007-2008 respectivamente. Daqui se pressupõem que a precipitação influencie a evapotranspiração.

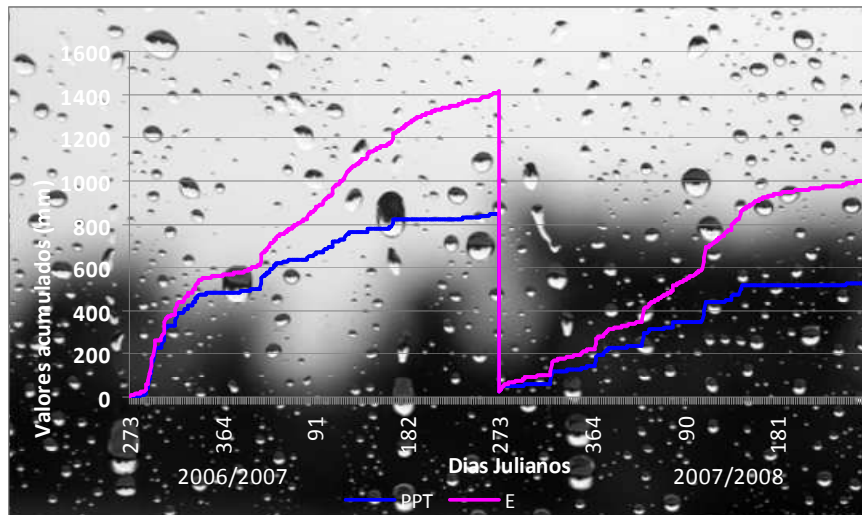


GRÁFICO 32: VALORES ACUMULATIVOS DE EVAPOTRANSPIRAÇÃO E PRECIPITAÇÃO TOTAL.

Os efeitos do défice de pressão de vapor do ar ( $D$ ) na condutância da superfície ( $g_s$ ), no período em estudo encontram-se representados no Gráfico 33. Verifica-se que o aumento do défice de pressão de vapor limita o aumento da condutância no solo. É possível verificar que para valores de  $D$  inferiores a 1 não se consegue visualizar a influência deste na condutância do solo. Os valores mais elevados de condutância verificam-se para um défice da pressão de vapor dentro do intervalo de 1 a 2 kPa.

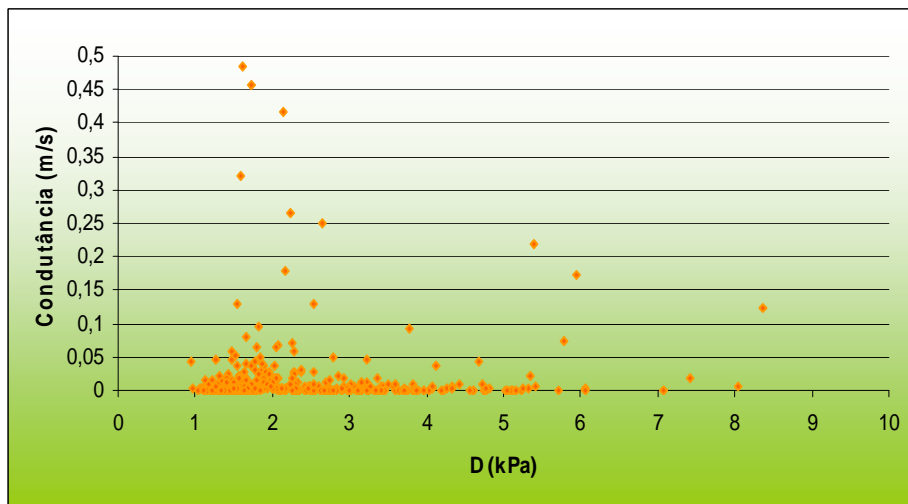


GRÁFICO 33: RELAÇÃO ENTRE A CONDUTÂNCIA E O DEFÍCE DE PRESSÃO DE VAPOR.

O coeficiente de desacoplamento ( $\Omega$ ) traduz a importância de  $D$  em controlar a evapotranspiração. Este coeficiente deve variar entre zero e um, sendo que  $\Omega$  igual a zero indica que o ecossistema e a atmosfera estão perfeitamente acoplados e para  $\Omega$  igual a um o ecossistema e a atmosfera estão totalmente desacoplados, dependendo a evapotranspiração da energia disponível à superfície ( $R_n - G$ ).

Através do Gráfico 34 verifica-se que ( $\Omega$ ) se mantém maioritariamente entre os valores de 0,2 de mínimo e um de máximo durante todo o período em análise.

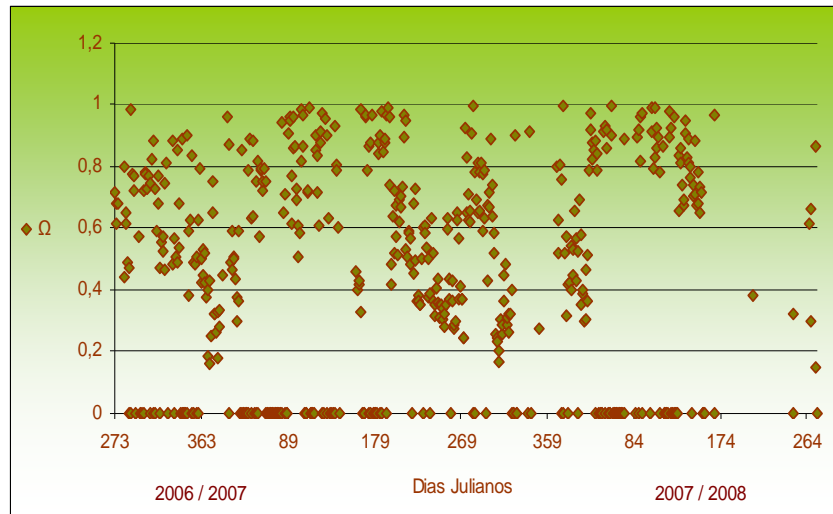


GRÁFICO 34: FACTORES DE DESACOPLEMENTO REGISTADOS NOS DOIS ANOS HIDROLÓGICOS

A fim de se avaliar se a fracção evaporativa ( $\lambda E/R_n$ ) influencia o desenvolvimento da vegetação, analisou-se a correlação (Gráfico 35) entre a fracção evaporativa e o IAF quando este foi superior a 1 (representativo de vegetação densa), nos anos hidrológicos de 2006-2008.

Verifica-se que existe uma relação linear entre estas duas variáveis embora fraca, com um coeficiente de correlação o qual apresenta um valor de  $R^2 = 0,2629$ . Observa-se também que as fracções evaporativas elevadas estão de acordo IAF elevados. Por exemplo quando o IAF é ligeiramente superior a 1,5 a fracção evaporativa é de 0,7.

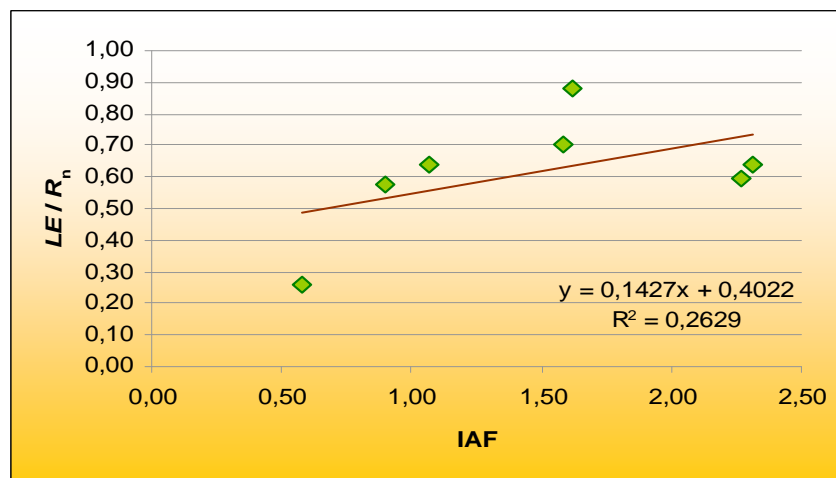


GRÁFICO 35: RELAÇÃO ENTRE A FRACÇÃO EVAPORATIVA E O IAF. FORAM UTILIZADOS DADOS DOS DOIS ANOS QUANDO O IAF FOI MAIOR DE 0,5. OS VALORES DE  $LE/R_n$  SÃO MÉDIAS DE 5 DIAS EM TORNO DAS MEDIÇÕES DE IAF



## 5.5 VARIAÇÃO INTER-ANUAL E SAZONAL DA TRANSFERÊNCIA DE DIÓXIDO DE CARBONO

### Variação do NEE, GPP e $R_{eco}$

A variação sazonal de NEE, GPP e  $R_{eco}$  no ano em estudo encontra-se ilustrada no gráfico em baixo. Como é possível verificar, a linha do  $R_{eco}$ , acompanha a tendência da linha do GPP. Já a linha do NEE apresenta um comportamento inverso. De uma forma sucinta, quando as variações de GPP e  $R_{eco}$  aumentam, o NEE diminui. A pastagem é claramente um sumidouro de carbono no intervalo entre o dia Juliano 17 (Janeiro) e 107 (Abril). Neste período encontram-se a fase de crescimento das plantas. As plantas ao saírem do seu estado de latência e iniciarem o seu desenvolvimento necessitam de captar mais carbono da atmosfera, daí a taxa de  $R_{eco}$  aumentar e a de NEE diminuir. Por outro lado, o desenvolvimento das plantas implica um aumento da GPP, por definição.

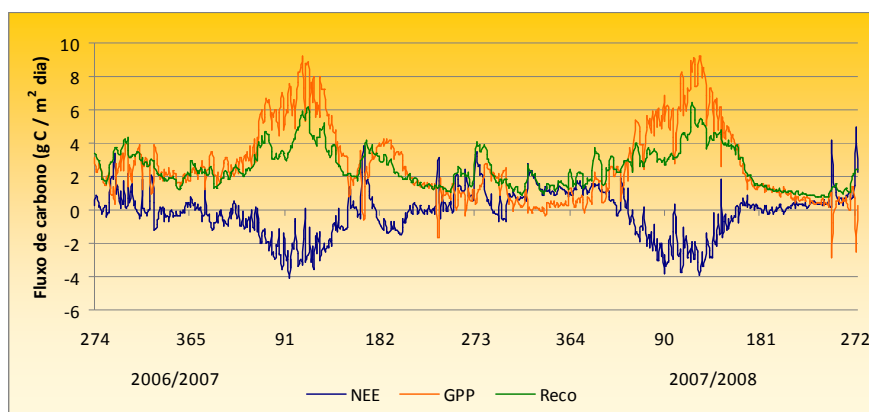


GRÁFICO 36: VARIAÇÃO DAS COMPONENTES DO BALANÇO DE CARBONO NO ANO HIDROLÓGICO EM ESTUDO

Ao observar o Gráfico 7 das temperaturas médias diárias, e simultaneamente o Gráfico 36 verifica-se que, tanto o GPP como o  $R_{eco}$ , atingem picos quando a temperatura é aproximadamente de 20°C. Isto pode ser explicado com base no facto de esta ser a temperatura óptima da maioria dos processos bioquímicos nas plantas. Verifica-se ainda, observando o gráfico do conteúdo volumétrico de água no solo (Gráfico 12), que para o período de elevado GPP o conteúdo volumétrico de água no solo tem percentagens ainda elevadas, o que revela abundância de água no solo em condições favoráveis ao desenvolvimento das plantas.

No Gráfico 37 é possível constatar o comportamento da pastagem ao longo do estudo. De um modo geral o ano hidrológico 2005-2006 e 2006-2007 foram semelhantes nas variações de NEE, GPP e  $R_{eco}$ . Em ambos os anos foi no período de crescimento que ocorreu maior variação de GPP e o NEE ficou

negativo. As maiores variações registadas ocorreram no ano hidrológico 2005-2006. O ano de 2007-2008 apresenta valores ligeiramente inferiores de NEE, GPP e  $R_{eco}$ , quando comparado com 2006-2007.

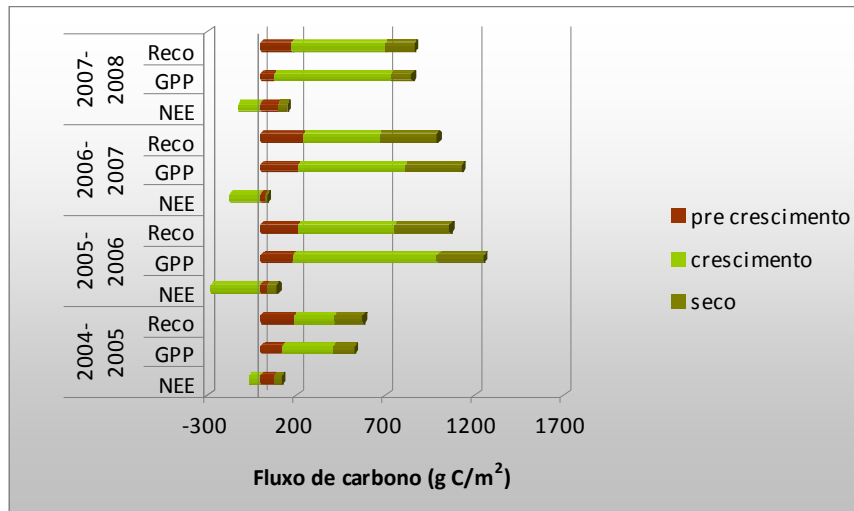


GRÁFICO 37: COMPARAÇÃO DO NEE,  $R_{eco}$  E GPP NOS ANOS HIDROLÓGICOS DO ESTUDO

No Gráfico 38 é possível observar um padrão comportamental da pastagem. Nota-se que nos meses de Abril a pastagem dos anos em estudo é claramente um sumidouro, atingindo o NEE valores negativos. Por outro lado, os meses de Outubro são aqueles em que a pastagem actua como fonte de carbono, sendo libertado carbono para atmosfera. Isto é esperado, uma vez que aos meses dos picos de variações positivas dos GPP e  $R_{eco}$  correspondem os meses do período de crescimento. Já quando o NEE atinge as variações mais elevadas, corresponde a fase seca das plantas.

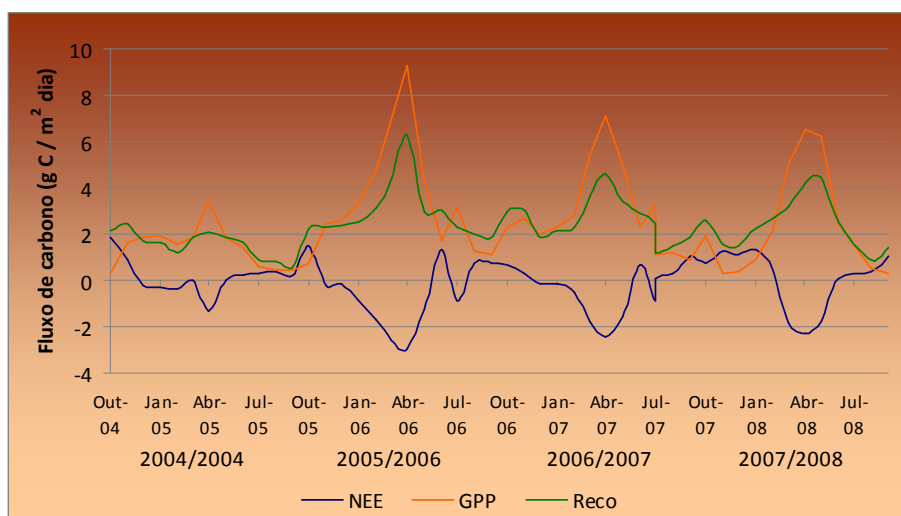


GRÁFICO 38: PADRÃO COMPORTAMENTAL DAS VARIÁVEIS DO BALANÇO DE CARBONO DESDE OUTUBRO DE 2004 A SETEMBRO DE 2008 (VALORES MEDIOS MENSAIS)

Observando o Gráfico 39 verifica-se que a tendência das variáveis GPP e  $R_{eco}$  é de aumentarem de magnitude, sendo quase sempre o GPP superior ao  $R_{eco}$ . O NEE tende a variar na proporção inversa, isto é quando GPP e o  $R_{eco}$  aumentam o NEE diminui. Esta relação entre os componentes do balanço de carbono era esperada e apoia a ideia de que a pastagem é um sumidouro de carbono.

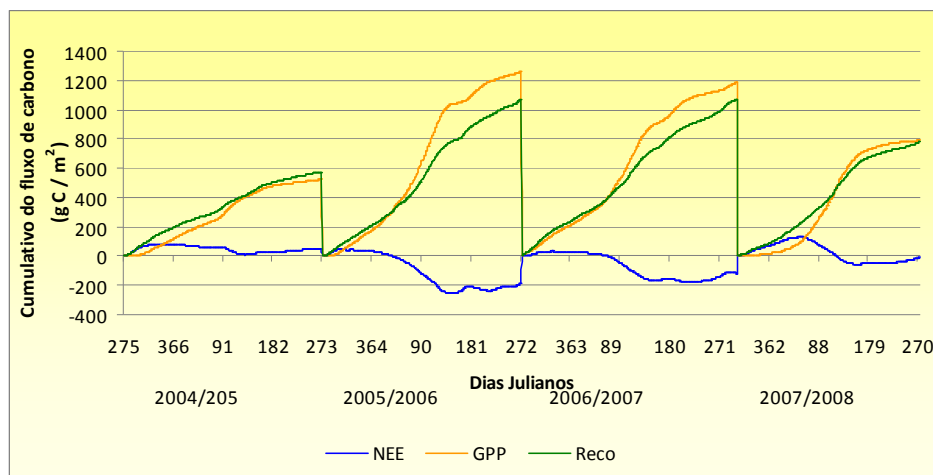


GRÁFICO 39: VALORES ACUMULADOS DAS VÁRIAS PARCELAS DO BALANÇO DE CARBONO DE OUTUBRO DE 2004 ATÉ SETEMBRO DE 2008

A Tabela 12 mostra uma forte relação entre a precipitação, o conteúdo de água no solo e a influência desta variáveis no balanço de carbono. Em 2006-2007 choveu mais que no ano hidrológico seguinte, o que possibilitou uma maior disponibilidade de água no solo. Isso foi reflectido num GPP elevado, acompanhado de um  $R_{eco}$  elevado e consequentemente o valor de NEE foi negativo. Isto sugere que a pastagem foi um sumidouro de carbono e que a precipitação é responsável por isso. No ano 2007-2008 a tendência do ano anterior mantém-se; no entanto os valores são mais baixos e o NEE atinge um valor positivo. Mesmo assim, comparando este valor com a ordem de grandeza de GPP ou de  $R_{eco}$  pode-se verificar que a pastagem continua a absorver mais carbono do que aquele que liberta para a atmosfera, portanto continua a comportar-se como um sumidouro de carbono.

TABELA 12: RELAÇÃO ENTRE A PPT,  $\theta_v$ , GPP  $R_{eco}$  E NEE NOS DIFERENTES PERÍODOS DO CICLO DE VIDA DAS PLANTAS, PARA OS ANOS HIDROLÓGICOS DE 2006-2007 E 2007-2008

	2006 - 2007			2007-2008			totais anuais	
	Pré-crescimento	Crescimento	Seco	Pré-crescimento	Crescimento	Seco	06-07	07-08
PPT (mm)	481	279	113	120	373	24	873	516
$\theta_v$ 15cm (%)	27	27	10	18	26	12	22	19
GPP (g C/m²)	213	602	315	79	653	117	1130	849
$R_{eco}$ (g C/m²)	239	429	321	174	523	167	990	864
NEE (g C/m²)	26	-173	7	96	-130	49	-140	15

Observando a Tabela 13, verifica-se que ao longo dos anos hidrológicos em estudo do projecto CARBOEUROPE-IP a pastagem se apresenta claramente como um sumidouro de carbono. Em anos hidrológicos mais chuvosos, existe maior disponibilidade de água no solo, e os valores de GPP e  $R_{eco}$  são muito elevados e o NEE atinge um valor muito negativo. Em anos hidrológicos menos chuvosos, a pastagem continua a ser um sumidouro de carbono, embora o NEE atinja valores positivos (estes são de magnitude reduzida quando comparados com os de GPP ou  $R_{eco}$ ). Pode-se assim deduzir que a precipitação influencia fortemente o comportamento da pastagem relativamente ao fluxo de carbono. Outro facto que reforça esta ideia é de no ano 2004-2005, um ano de seca evidenciado na tabela através dos valores de precipitação, GPP e  $R_{eco}$  serem os mais baixos e o NEE o mais elevado, de todo o período. Isto sugere que em anos hidrológicos de seca extrema a pastagem poderá passar a emitir mais carbono (ficando o NEE com valores claramente positivos).

**TABELA 13: : RELAÇÃO ENTRE A PPT,  $\theta_v$ , GPP  $R_{eco}$  E NEE NOS DIFERENTES PERIODOS DO CICLO DE VIDA DAS PLANTAS DESDE 2004-2005 ATÉ 2007-2008 ( TOTAIS ANUAIS: PPT, GPP,  $R_{eco}$  E NEE; VALORES MÉDIOS:  $\theta_v$  A 15 CM).**

Parâmetros	Anos Hidrológicos (totais)			
	2004-2005	2005-2006	2006-2007	2007-2008
PPT (mm)	363,6	751,2	873	516
$\theta_v$ 15cm (%)	10,9	21,8	22	19
GPP (g C/m <sup>2</sup> )	524	1261	1130	849
$R_{eco}$ (g C/m <sup>2</sup> )	573	1071	990	864
NEE (g C/m <sup>2</sup> )	49	-190	-140	15

## Variação das eficiências do uso da água e radiação

A eficiência do uso da água (WUE) e da radiação (LUE) é influenciada por factores como o clima ou a estrutura e o estado da vegetação do ecossistema. Assim, conhecer as eficiências do uso da água e da radiação permite determinar e quantificar a capacidade do ecossistema de aproveitar a água e a radiação disponível. Os Gráfico 40 e Gráfico 41 ilustram as variações sazonais da LUE e da WUE. Estes parâmetros foram calculados através de médias de 5 dias consecutivos, de acordo com Aires (2007).

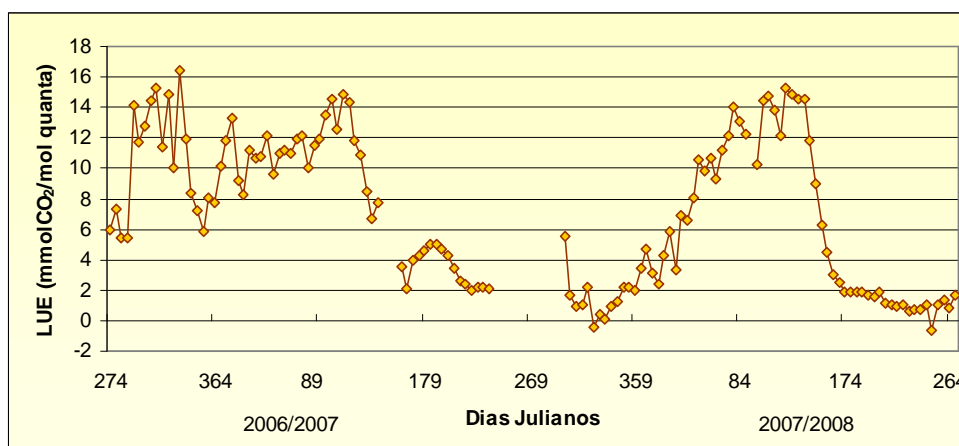


GRÁFICO 40: EFICIÊNCIA DO USO DA RADIAÇÃO.

No ano de 2006-2007: a LUE apresenta três picos principais: no dia Juliano 334 (29 de Novembro 2006) no dia 14 (14 de Janeiro de 2007) e no dia 109 (19 de Abril de 2007); os valores mínimos são obtidos nos meses de Junho e Agosto. Considerando as fases de crescimento das planta (pré-crescimento, crescimento e seco) verifica-se então que os picos registados estão dentro dos períodos de pré-crescimento e crescimento das plantas. Por outro lado os valores mínimos estão no período seco. No ano de 2007-2008 o LUE diminui até ao dia 324 (2007) e depois aumenta gradualmente até ao dia 124 após o qual volta a descer. O valor máximo de LUE obtido aproxima-se dos valores para pastagens e prados das zonas temperadas.

O uso eficiente da água (WUE) é mais elevado no início do Inverno (Janeiro) de ambos os anos hidrológicos. A WUE atinge valores mais elevados no ano hidrológico de 2006-2007 do que do ano de 2007-2008. Isto pode estar relacionado com o facto de em 2006-2007 ter existido mais precipitação que no ano posterior.

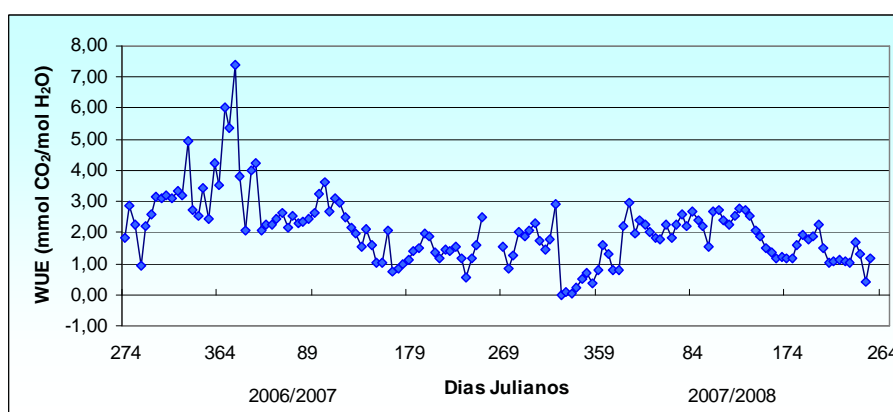


GRÁFICO 41: EFICIÊNCIA DO USO DA ÁGUA.

No ano de 2006-2007: O WUE no ano 2006-2007 atingiu um pico máximo no dia Juliano 14 (14 de Janeiro de 2007), situando a maioria das WUE calculadas entre o intervalo 2 e 4 (ao longo do ano hidrológico). O valor mínimo foi obtido no dia 234 (22 de Agosto de 2007). Observando o gráfico do conteúdo volumétrico de água no solo a diferentes profundidades, verifica-se que a estes picos correspondem alguns dos valores mais elevados de conteúdo volumétrico da água no solo a 2 cm de profundidade, o que sugere a abundância de água disponível no solo. Por outro lado, comparando os mesmo gráficos verifica-se que os valores mínimos de WUE correspondem ao período em que o conteúdo volumétrico de água no solo também é mínimo. No ano de 2007-2008 verifica-se um pico no dia 319 (2007) e outro no dia 24 (2008). A WUE mantém-se entre valores de 1 a 3 mmol CO<sub>2</sub>/mol H<sub>2</sub>O na maior parte de ano.

### Resposta do NEE à radiação fotossintética

Com a finalidade de avaliar a resposta do NEE diurno à radiação fotossintética incidente (PPFD) foram elaboradas curvas de resposta à radiação fotossintética demonstradas no Gráfico 42 para diferentes períodos ao longo do ano hidrológico. Os parâmetros referentes às curvas encontram-se sumariados na Tabela 14.

Na maioria dos períodos seleccionados em ambos os anos hidrológicos a equação da Michaelis-Menten ajustou-se perfeitamente aos resultados experimentais, sendo os coeficientes de correlação bastante próximos de 1, a única excepção foi o período de 11 a 19 de Abril de 2008 para o qual foi utilizada a função polinomial quadrática.

Observando as várias imagens que compõem o Gráfico 42 verifica-se que para os períodos em análise as curvas são muito semelhantes tanto na forma como na amplitude de valores, o que sugere que a pastagem não sofreu alterações significativas. Por exemplo: para o período de dias 32-42 as linhas de 2007 e de 2008 quase que se podiam sobrepor, se estivessem na mesma figura.

Observando a Tabela 14 verifica-se uma relação entre os valores de SWC, T e  $\alpha$ : por exemplo para o primeiro período em análise: quando o conteúdo volumétrico de água no solo diminui e a temperatura aumenta, os valores de  $\alpha$  ficam ligeiramente maiores. Isto era esperado, uma vez que o período em questão é dentro da fase de crescimento das plantas C3, sendo portanto  $\alpha$  dependente da temperatura.

Pode verificar-se que quando existe um défice de água no solo o valor de  $\alpha$  é muito pequeno, como é o caso dos períodos 182-192 tanto em 2007 como em 2008. O valor de  $\alpha$  observados entre os dias 182-192 de 2008 é muito semelhante ao reportado por Leegood (1996) para plantas C4 (-0,054), de onde se poderá depreender que este valor é devido à presença das plantas C4.

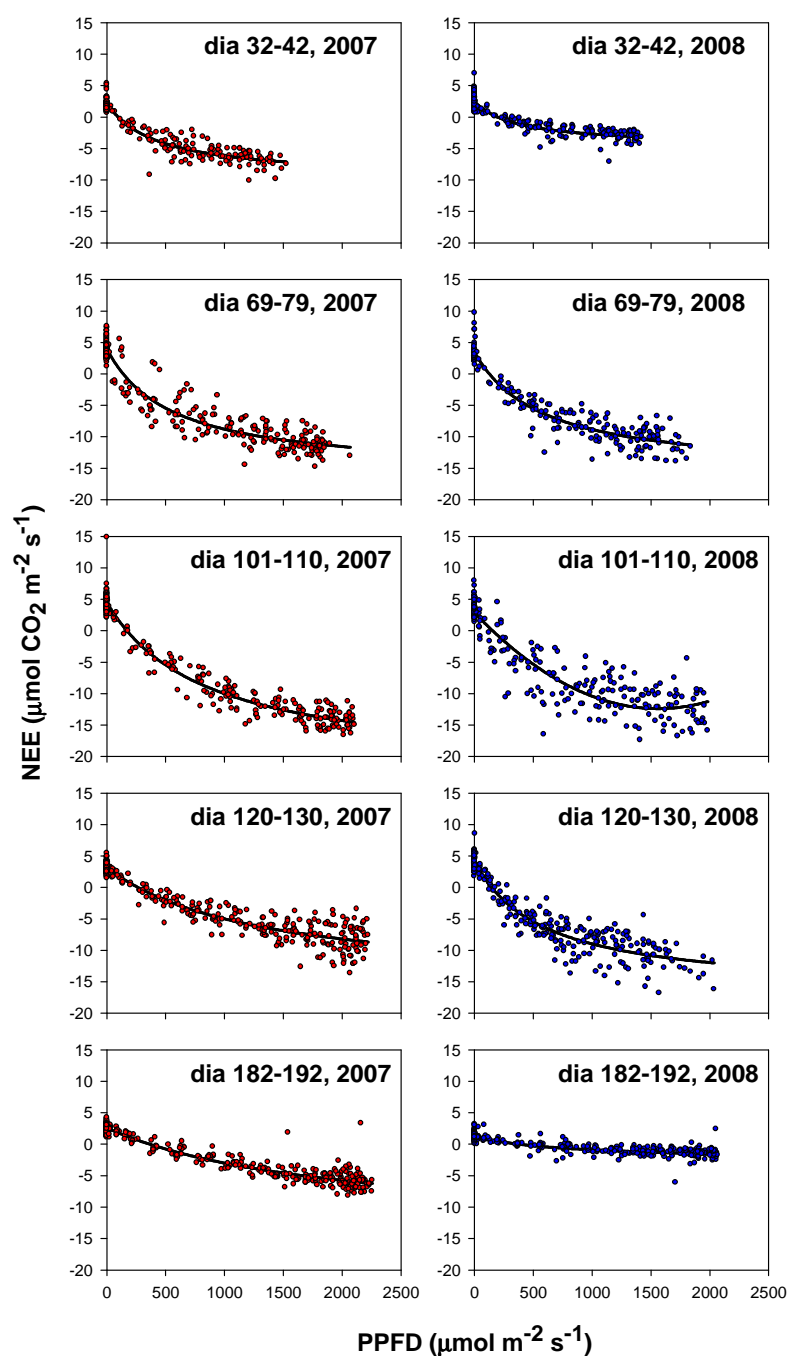


GRÁFICO 42: VARIAÇÃO DAS CURVAS DE RESPOSTA À RADIAÇÃO FOTOSSINTÉTICA, EM DIFERENTES PERÍODOS NOS ANOS HIDROLÓGICOS 2006-2007 E 2007-2008

**TABELA 14: PARÂMETROS DAS CURVAS DE RESPOSTA DA VEGETAÇÃO À RADIAÇÃO FOTOSSINTÉTICA, IAF E CONTEÚDO VOLUMÉTRICO DE ÁGUA NO SOLO A 15 CM DE PROFUNDIDADE**

Data Juliana	IAF	SWC	T	$\alpha$	NEE <sub>max</sub>	R <sub>eco</sub>	R <sup>2</sup>
Dia 32-42, 2007	<1	31,9	7,6	-0.02773	-9.764	2.197	0.911
Dia 32-42, 2008	<1	28,7	8,0	-0.01911	-4.583	2.463	0.858
Dia 69-79, 2007	<1	28,5	10,3	-0.03610	-15.818	4.005	0.926
Dia 69-79, 2008	<1	25,2	10,1	-0.03368	-15.955	3.497	0.915
Dia 101-110, 2007	2,34	21,3	13,5	-0.03165	-22.234	4.476	0.966
Dia 101-110, 2008	<1	29,4	10,2	-	-	-	-
Dia 120-130, 2007	<1	15,4	12,7	-0.01442	-15.579	3.169	0.911
Dia 120-130, 2008	1,585	17,4	12,8	-0.0355	-16.656	4.136	0.924
Dia 120-130, 2008	1,585	17,4	12,8	-0.0355	-16.656	4.136	0.924
Dia 182-192, 2008	<1	12,1	19,7	-0.0046	-2.659	1.208	0.766

Pode verificar-se que quando existe um défice de água no solo o valor de  $\alpha$  é muito pequeno, como é o caso dos períodos 182-192 tanto em 2007 como em 2008. O valor de  $\alpha$  observados entre os dias 182-192 de 2008 é muito semelhante ao reportado por Leegood (1996) para plantas C4 (-0,054), de onde se poderá depreender que este valor é devido à presença das plantas C4.

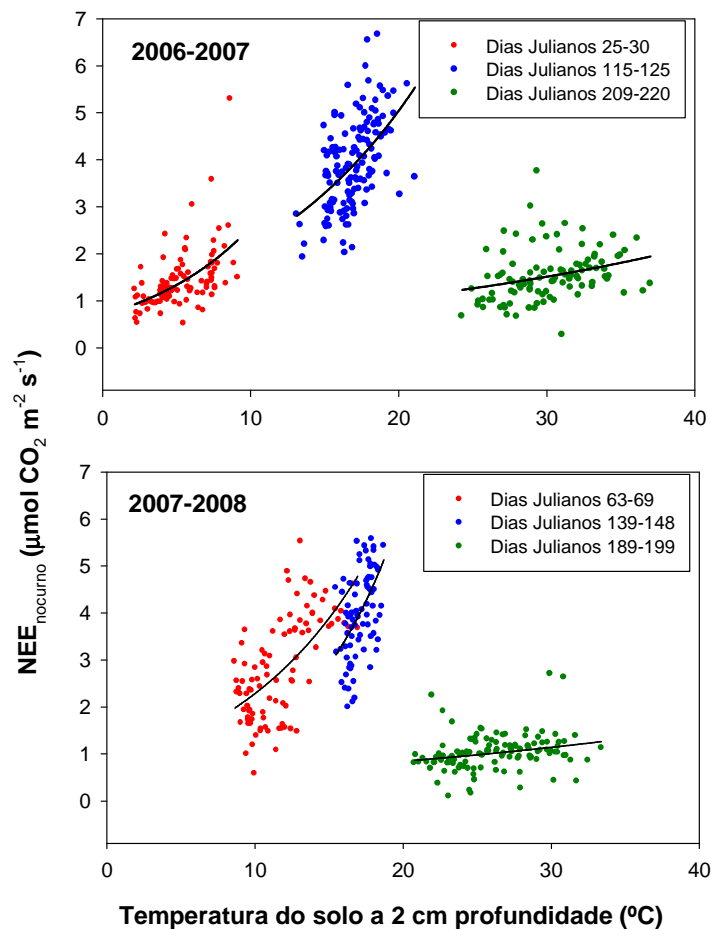
Comparativamente aos valores de  $\alpha$  obtidos por Aires (2007) os valores do presente estudo estão concordantes com os apresentados para o ano hidrológico de 2005-2006.

Os valores de  $\alpha$  registados poderão ser indicadores de que a absorção de radiação PPDF pelo coberto vegetal foi diminuta. Isto pode ser explicado devido ao baixo valor de IAF (na maioria dos períodos analisados foi inferior a 1).



## Resposta NEE à temperatura do solo

As pastagens mediterrânicas podem apresentar uma ampla variação sazonal do conteúdo de água no solo. Com o intuito de analisar de que modo a temperatura do solo influencia o NEE elaboraram-se os Gráfico 43 (A) e (B). Estão representados vários períodos onde o conteúdo volumétrico de água no solo e o IAF foram constantes. As curvas foram obtidas através da equação (39.)



**GRÁFICO 43: RELAÇÃO ENTRE O FLUXO DE CARBONO NOCTURNO E A TEMPERATURA REGISTADA A 2 CM DE PROFUNDIDADE PARA 2006-2007(A) E 2007-2008(B). OS COEFICIENTES DE CORRELAÇÃO ENCONTRAM-SE NA TABELA 15**

Pela análise do Gráfico 43 observa-se que em ambos os anos, quando a temperatura solo a 2 cm se manteve entre os 10°C e os 20°C, o NEE apresentou valores mais elevados. Por outro lado, observa-se também que isto ocorre preferencialmente nos períodos de crescimento.

Efectuou-se ainda a determinação do coeficiente de sensibilidade da respiração do ecossistema à temperatura,  $Q_{10}$ , (Tabela 15) para ambos os anos hidrológicos. No ano 2006-2007 verifica-se que o  $Q_{10}$  diminui de 3,69 no início da estação de crescimento, para 1,43 na estação seca. Isto encontra-se de acordo com o observado em anos anteriores. No ano de 2007-2008 verifica-se que o  $Q_{10}$  aumenta durante a estação de crescimento (de 2,90 no início para 4,68), mas diminui na estação seca.

No geral os  $Q_{10}$  determinados para o período em estudo são os mais elevados desde o início do projecto CARBOEUROPE-IP. Isto significa que o ecossistema dos anos de 2006-2007 e 2007-2008 foi bastante sensível à temperatura.

**TABELA 15: CONTEÚDO VOLUMÉTRICO DE ÁGUA NO SOLO A 15 CM DE PROFUNDIDADE, PARÂMETROS DAS CURVAS DO GRÁFICO 43 E  $Q_{10}$  CALCULADO PARA OS MESMOS PERÍODOS**

<b>Data Juliana</b>	<b>SWC 15 cm</b>	<b>a</b>	<b>b</b>	<b>R<sup>2</sup></b>	<b><math>Q_{10}</math></b>
Dia 25-30, 2007	30	0.6952	0.1306	0.2858	3.69
Dia 115-125, 2007	23	0.9162	0.0853	0.2857	2.35
Dia 209-220, 2007	10	0.5163	0.0358	0.0899	1.43
Dia 63-69, 2008	30	0.7899	0.1063	0.4074	2.90
Dia 139-148, 2008	22	0.2865	0.1543	0.2066	4.68
Dia 189-199, 2008	12	0.4638	0.0300	0.0557	1.35

## 6. Conclusões

O projecto CARBOEUROPE-IP foi desenvolvido face à necessidade de conhecer e compreender o balanço terrestre de dióxido de carbono e variáveis envolvidas, impostas pelo Protocolo de Quioto. Este estudo desenvolveu-se no âmbito do projecto CARBOEUROPE, na componente “Ecosistemas”, contribuindo assim para a base de dados do CARBOEUROPE. Foram efectuadas medições relativas à transferência de dióxido de carbono, vapor de água e energia, numa pastagem Alentejana (Évora, Monte do Tojal). As medições foram realizadas em contínuo ao longo de quatro anos. O presente estudo analisa os dados obtidos dos 3º e 4º anos consecutivos de medições: os anos hidrológicos de 2006 - 2007 e 2007-2008.

A pastagem apresentou características intrínsecas de um clima mediterrânico: em ambos os anos hidrológicos foram registadas temperaturas do ar baixas no Inverno e elevadas no Verão. As estações de Outono e Primavera foram chuvosas. No Verão foram atingidos mínimos de aproximadamente 30% de humidade relativa (HR), mas na maior parte do ano a HR manteve-se dentro do intervalo [60%; 80%]. A temperatura do solo da pastagem não variou significativamente às diferentes profundidades a que foram efectuadas medições; observaram-se comportamentos semelhantes às temperaturas do ar (valores médios). Os conteúdos volumétricos de água no solo ( $\theta_v$ ) registados às profundidades de 2 e 15 cm variaram de forma semelhante, com valores muito similares entre si e de acordo com a precipitação registada: em meses de elevada ocorrência de precipitação o conteúdo volumétrico de água no solo a estas profundidades foi elevado; do mesmo modo em meses de baixa ou nula ocorrência de precipitação (Verão) o conteúdo volumétrico de água no solo foi mínimo a 2 e 15 cm. À profundidade de 30 cm o conteúdo volumétrico de água no solo também variou de acordo com o descrito anteriormente, embora não de modo tão significativo.

As espécies identificadas mais abundantes no ano 2006-2007 foram as C3 *Vulpia bromoides*, *Leontodon taraxacoides*, *Cynodon dactylon* e *Tolpis barbata*. No ano de 2007-2008 as espécies que predominaram foram *Spergula arvensis*, *Rumex bucephalophorus*, *Chamaemelum fuscatum* e *Lupinus luteus* (Figura 12 e Figura 13). A única espécie C4 identificada foi a *Cynodon dactylon*. Em 2006-2007 as plantas C3 começaram a desenvolver-se no início do ano hidrológico, enquanto que as C4 só deram início ao seu desenvolvimento em Maio. No ano seguinte a estação de crescimento das C3 prolongou-se até início de Junho.

A composição das espécies identificadas na pastagem diferiu substancialmente da determinada em anos hidrológicos anteriores. O ano 2006-2007 foi aquele em que identificou a maior variedade florística desde o início do projecto CARBOEUROPE-IP. Em 2007-2008 foram identificadas menos espécies;

contudo novas espécies continuaram a aparecer. Esta verificação pode dever-se à precipitação ocorrida (entre outros factores), a qual é um factor determinante na variedade das espécies que se desenvolvem na pastagem.

O balanço de radiação apresentou mínimos no Outono e início de Inverno e máximos no final da Primavera e início de Verão. Os restantes fluxos variaram em função da energia disponível ( $R_n$ ), conteúdo volumétrico de água no solo e do desenvolvimento do coberto vegetal. Os fluxos de  $H$  e  $LE$  apresentaram um comportamento similar, embora desfasados no tempo. Quanto à partição de energia (fracções  $H/R_n$ ,  $LE/R_n$  e  $G/R_n$ ) a fracção mais significativa nos períodos de pré-crescimento e crescimento é a de  $LE/R_n$ . Após isto, no período seco a fracção  $H/R_n$  assume valores mais elevados que as outras. As fracções  $H/R_n$  e  $LE/R_n$  variam de forma inversa ao longo do ano hidrológico. Nos anos em estudo os fluxos de energia apresentam uma variação inter-anual semelhante, sendo no ano de 2007-2008 a magnitude dos fluxos mais elevada.

A evapotranspiração máxima ocorreu no final da Primavera e a mínima no Outono/Inverno. Os valores acumulados de evapotranspiração e de precipitação registados nos anos hidrológicos em análise evidenciam que a precipitação condiciona a evapotranspiração, uma vez que apresentam um padrão comportamental semelhante.

O défice de pressão de vapor ( $D$ ) limita a condutância do solo, a qual por sua vez é condicionada pelo conteúdo volumétrico de água no solo, sendo que este ultimo é afectado pelas ocorrências de precipitação. O coeficiente de desacoplamento ( $\Omega$ ) quantifica a importância de  $D$  no controlo da evapotranspiração ( $E$ ). Quando  $\Omega$  é próximo de zero, a evapotranspiração é essencialmente controlada por  $D$ ; quando  $\Omega$  está próximo de um a evapotranspiração é controlada pela energia disponível ( $R_n - G$ ). A pastagem apresentou valores de  $\Omega$  no intervalo [0,2; 1] o que sugere que  $E$  foi mais controlada pela fracção  $R_n - G$ , do que pelo  $D$  na maior parte do tempo.

A pastagem comportou-se como um sumidouro de carbono em parte dos meses de Inverno e Primavera (período de crescimento das plantas), constatando-se nesse período de tempo os valores mínimos de NEE e os máximos de GPP e  $R_{eco}$ . Nos meses de Outono e Verão a pastagem foi claramente uma fonte de carbono. O uso eficiente da radiação e água (LUE e WUE) foram máximas no Outono e Inverno, e mínimas no Verão. De um modo geral verificou-se que temperaturas médias e conteúdos volumétricos de água no solo elevados contribuem para WUE elevados.

Comparando os resultados obtidos ao longo dos 4 anos de medições é possível compreender o comportamento da pastagem ao longo do ano hidrológico. Em anos hidrológicos húmidos (os dois últimos) a pastagem é um maior sumidouro de carbono, do que em anos secos. O ano em que a pastagem absorveu mais carbono foi no de 2005-2006 sendo o ano de 2006-2007 o segundo a apresentar o NEE mais negativo

## 7. Bibliografia

- Aires L., Pio C., Pereira J., 2008. The effect of drought on energy and water vapour above a Mediterranean C3/C4 grassland in southern Portugal. *Agricultural and Forest Meteorology* 148: 565-579.
- Aires L., Pio C., Pereira J., 2008. Carbon dioxide exchange above a Mediterranean C3/C4 grassland during two climatologically contrasting years. *Global Change Biology* 14: 539-555
- Aires, L. 2007. Fluxos de CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O e energia numa pastagem mediterrânica C3/C4. Universidade de Aveiro, Portugal
- Allen, R.G., Pereira, L. S., Raes, D., Smith, M., 1998. Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements. FAO Irrigation and drainage Paper 56. FAO, Rome, Italy, 300
- Araya, P. S., 1998. Introduction to Micrometeorology. Academic Press Inc. Inglaterra.
- Alves, C.A.M., Pina, H.L., 1969. Carta geológica de Portugal: nota explicativa da folha 40-A Évora. Direcção Geral de Minas e Serviços Geológicos, Serviços Geológicos de Portugal, Lisboa.
- Adams, J. M., Faure, H., 1997. a new estimate of changing carbon storage on land since the last glacial maximum, based on global land ecosystem reconstruction. *Global and Planetary Changes* 16-17: 3-24
- Bierbaum, R., 2005. Climate Change – The big environmental issue. The Royal Society of Chemistry, 832-833.
- Baldocchi, D.D., 2003. Assessing the eddy covariance technique for evaluating carbon dioxide exchange rates of ecosystems: past, present and future. *Global Change Biology* 9: 479-492.
- Botelho da Costa, J., 1995. Caracterização e constituição do solo, 5ª ed. Fundação Calouste Gulbenkian, Lisboa.
- Curtis, P.S., Hanson, P.J., Bolstad, P., Barford, C., Randolph, J.C., Schmid, H.P., Wilson, K.B., 2002. Biometric and eddy-covariance based estimates of annual carbon storage in five eastern North American deciduous forests. *Agricultural and Forest Meteorology* 113: 3-19.
- Da Silva J., Rosiberto et al., 2004. Estudo da concentração de CO<sub>2</sub> atmosférico em área de pastagem na região amazónica; *Revista Brasileira de Geofísica*; Brasil.
- Dersch, G. , Böhn, K. 2004. Effect of agronomic practices on the soil carbon storage potencial in arable farming in Austria. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 60: 49-45

- Desjardins R., Kulshreshtha S., Junkins B., Smith W., Boehm M. 2001. Canadian Greenhouse gas mitigation options in agriculture. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 60: 317-326
- Dilling, L. et al., 2003. The role of carbon cycle observations and knowledge in carbon management *Annual Review of Environment and Resources* 28: 521-558
- Sauerbeck D. R., 2001. CO<sub>2</sub> Emissions and C sequestration by agriculture – perspectives and limitations. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 60: 253-266
- Dias Correia, A., 1986. Bioquímica nos solos, nas pastagens e forragens, Fundação Calouste Gulbenkian, Lisboa.
- Edwards, G., Ku, M.S.B., Monson, R.K., 1985. C<sub>4</sub> photosynthesis and its regulation. In: J. Barber, N.R. Baker (Editors), *Photosynthetic Mechanisms and the Environment*. Elsevier Science Publishers, Amsterdam, pp. 287-328
- Ehman, J.L., Schmid, H.P., Grimmer, C.S.B., Randolph, J.C., Hanson, P.J., Wayson, C.A., Cropley, F.D., 2002. An initial intercomparison of micrometeorological and ecological inventory estimates of carbon exchange in a mid-latitude deciduous forest. *Global Change Biology* 8: 575-589.
- Falge, E., Baldocchi, D., Olson, R., Anthoni, P., Aubinet, M., Bernhofer, C., Burba, G., Ceulemans, G., Clement, R., Dolman, H., Granier, A., Gross, P., Grunwald, T., Hollinger, D., Jensen, N.O., Katul, G., Keronen, P., Kowalski, A., Lai, C.T., Law, B.E., Meyers, T., Moncrieff, J., Moors, E., Munger, J.W., Pilegaard, K., Rannik, U., Rebmann, C., Suyker, A., Tenhunen, J., Tu, K., Verma, S., Vesala, T., Wilson, K., Wofsy, S., 2001a. Gap filling strategies for long term energy flux data sets. *Agricultural and Forest Meteorology* 107: 71-77.
- Falge, E., Baldocchi, D., Olson, R., Anthoni, P., Aubinet, M., Bernhofer, C., Burba, G., Ceulemans, R., Clement, R., Dolman, H., Granier, A., Gross, P., Grunwald, T., Hollinger, D., Jensen, N.O., Katul, G., Keronen, P., Kowalski, A., Lai, C.T., Law, B.E., Meyers, T., Moncrieff, H., Moors, E., Munger, J.W., Pilegaard, K., Rannik, U., Rebmann, C., Suyker, A., Tenhunen, J., Tu, K., Verma, S., Vesala, T., Wilson, K., Wofsy, S., 2001b. Gap filling strategies for defensible annual sums of net ecosystem exchange. *Agricultural and Forest Meteorology* 107: 43-69.
- Falge, E., Baldocchi, D., Tenhunen, J., Aubinet, M., Bakwin, P., Berbigier, P., Bernhofer, C., Burba, G., Clement, R., Davis, K.J., Elbers, J.A., Goldstein, A.H., Grelle, A., Granier, A., Guomundsson, J., Hollinger, D., Kowalski, A.S., Katul, G., Law, B.E., Malhi, Y., Meyers, T., Monson, R.K., Munger, J.W., Oechel, W., Paw, K.T., Pilegaard, K., Rannik, U., Rebmann, C., Suyker, A., Valentini, R., Wilson, K., Wofsy, S., 2002. Seasonality of ecosystem respiration and gross primary production as derived from FLUXNET measurements. *Agricultural and Forest Meteorology* 113: 53-74.

- Faure H., Adams J, 1998. A new estimate of changing carbon storage on land since the last glacial maximum, based on global land ecosystem reconstruction. *Global and Planetary Change* 16-17: 3-24
- Foken, T., et al., 2006. Flux and concentration footprint modeling: State of the art. *Environmental Pollution* 152: 653-666.
- Foken, T., Leclerc, M.Y., 2004. Methods and limitations in validations of footprint models. *Agricultural and Forest Meteorology* 127: 223-234.
- Foken, T., Wichura, B., 1996. Tools for quality assessment of surface-based flux measurements. *Agricultural and Forest Meteorology* 78: 83-105.
- Gilmanov, T.G., Soussana, J.F., Aires, L., Allard, V., Ammann, C., Balzarolo, M., Barcza, Z., Bernhofer, C., Campbell, C.L., Cernusca, A., Cescatti, A., Clifton-Brown, J., Dirks, B.O.M., Dore, S., Eugster, W., Fuhrer, J., Gimeno, C., Gruenwald, T., Haszpra, L., Henses, A., Ibrom, A., Jacobs, A.F.G., Jones, M.B., Lanigan, G., Laurila, T., Lohila, A., Manca, G., Marcolla, B., Nagy, Z., Pilegaard, K., Pinter, K., Pio, C., Raschi, A., Rogiers, N., Sanz, M.J., Stefani, P., Sutton, M., Tuba, Z., Valentini, R., Williams, M.L., Wohlfahrt, G., 2007. Partitioning European grassland net ecosystem CO<sub>2</sub> exchange into gross primary productivity and ecosystem respiration using light response function analysis. *Agriculture Ecosystems and Environment* 121: 93-120.
- Grelle A., Burba G., 2007. Fine-wire thermometer to correct CO<sub>2</sub> fluxes by open-path analyzers for artificial density fluctuations. *Agricultural and Forest Meteorology* 147: 48 - 57
- Hollinger D., Goltz S., Davidson E., Lee J., Tu K., Valentine H. 1999. Seasonal patterns and environmental control of carbon dioxide and water vapour exchange in a ecotonal boreal forest. *Global Change Biology* 5: 891-902
- Halpern, M., 1997. Bioquímica, LIDEL, Portugal.
- Holper, P. , 1994. Atmosphere: weather, climate and pollution. Cambridge University Press. Nova York.
- Jongen, M., Aires, L., Pio, C., Pereira, J., 2008. Interannual rainfall variability effects on carbon sequestration capacity of a Mediterranean grassland ecosystem. *Geophysical research abstracts*.
- Klapp, E., 1971. Prados e pastagens, 2ª Edição. Fundação Calouste Gulbenkian. Lisboa.
- Kljun N., Rotach M., Schmid H., 2001. A three-dimensional backward lagrangian footprint model for a wide range of boundary-layer stratifications. Institute for Atmosphere and Climate science ETH, Zurich, Switzerland and Department of Geography, Indiana University, Bloomington, Indiana, U.S.A.
- Kolle O., Rebmann C., Documentation of a software package to Acquire and process Eddy Covariance Data. Max-Planck-Institute, Germany.

- Liu H., Randerson J., Linfors J., Massman W., Foken T. 2006. Consequences of incomplete surface energy balance closure for CO<sub>2</sub> fluxes open-path CO<sub>2</sub>/H<sub>2</sub>O infrared gas analyzers. Division of Geological and Planetary Sciences, California Institute of Technology.
- Long, S. et al., 2004. Rising atmospheric carbon dioxide: Plants face the future. *Annual Review of Plant Biology* 55: 591-628
- Markkanen T., Rannik U., Marcolla B., Cescatti A., Vesala T., 2002. Footprints and Fetches for fluxes over forest canopies with varying structure and density. Department of Physical Sciences, University of Helsinki, University of Helsinki, Finland; Centro di Ecologia Alpina, Italy; Department of civil and Environmental Engineering, University of Trento, Italy.
- Massman, W.J., Lee, X., 2002. Eddy covariance flux corrections and uncertainties in long-term studies of carbon and energy exchanges. *Agricultural and Forest Meteorology* 113: 121-144.
- Oenema, O., Velthof G., Kuikman, P., 2001. Technical and policy aspects of strategies to decrease greenhouse emissions from agriculture. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 60: 301-315.
- Oke, T.R., 1987. *Boundary layer climates*. Routledge, London.
- Odum, E. 1988. *Fundamentos de ecologia*. 4ª Edição. Fundação Calouste Gulbenkian. Lisboa.
- Pelczar, M., et al., 1997. *Microbiologia conceitos e aplicações*. Volume I, 2ª Edição. Markon Books.
- Raich, J. W., Tufekcioglu, A., 2000. Vegetation and soil respiration: correlation and controls. *Biochemistry* 48: 71-90
- Reichstein, M., Falge, E., Baldocchi, D., Papale, D., Aubinet, M., Berbigier, P., Bernhofer, C., Buchmann, N., Gilmanov, T., Granier, A., Grunwald, T., Havrankova, K., Ilvesniemi, H., Janous, D., Knohl, A., Laurila, T., Lohila, A., Loustau, D., Matteucci, G., Meyers, T., Miglietta, F., Ourcival, J.M., Pumpanen, J., Rambal, S., Rotenberg, E., Sanz, M., Tenhunen, J., Seufert, G., Vaccari, F., Vesala, T., Yakir, D., Valentini, R., 2005. On the separation of net ecosystem exchange into assimilation and ecosystem respiration: review and improved algorithm. *Global Change Biology* 11: 1424-1439.
- Rodrigues A., Pita G., 2003. Fluxos de Massa e Energia na Camada Limite Atmosférica em Montado de Sobro. *Silva Lusitana* 11: 32 - 60
- Seinfeld. H. J., Pandis, S. N., 1997. *Atmospheric chemistry and physics: from air pollution to climate change*. Wiley Interscience Publications. Canada.
- Smith, P., et al., 2001. Enhancing the carbon sink in European agricultural soils: including trace gas fluxes in estimates of carbon mitigation potential.; *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 60: 237-252.



- Schmid, H.P., 2002. Footprint modeling for vegetation atmosphere exchange studies: a review and perspective. *Agricultural and Forest Meteorology* 113: 159-183.
- Schmid, H.P., Rotach, W. M. , Kljun, N. , 2001. A three-dimensional backward langrangian footprint model for a wide range of boundary – layer stratifications. *Boundary – Layer Meteorology* 103: 205-226.
- Schmid, H.P., Grimmond, C.S.B., Cropley, F., Offerle, B., Su, H.B., 2000. Measurements of CO<sub>2</sub> and energy fluxes over a mixed hardwood forest in the mid-western United States. *Agricultural and Forest Meteorology* 103: 357-374.
- Suyker A., Verma S., Burba G., 2003. Interannual variability in net CO<sub>2</sub> exchange of a native tallgrass prairie. *Global Change Biology* 9: 255-265.
- Stull, R.B., 1988. An introduction to boundary layer meteorology. Atmospheric sciences library. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht ; Boston.
- Folhes M.T., Soares J.V., Rennó C.D. , Correia A.H., 2007. Estimativa de fluxos de energia por meio do modelo METRIC em região semi árida. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São Paulo, Brasil.
- Vessala T., Kljun N., Rannik U., Rinne J., Sogachev A., Markkanen T., Sabelfeld K., Foken Th., Leclerc M.Y. 2008. Flux and concentration footprint modelling: State of the art. *Environment Pollution* 152: 653-666.
- Vetter M., Chukina G., Reichstein M., Zaehle S., Bondeau A., Chen Y., Ciais p., Feser F., Freibauer A., Geyer R., Papale D., Tenhunen j., Tomelleri E., Trusilova K., Heimann M. 2008. Analyzing the cases and spatial pattern of European 2003 carbon flux using seven models. *Biogeosciences* 5: 561-583
- Vickers, D., Mahrt L., 1997. Quality control and flux sampling problems for tower and aircraft data. *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology* 14: 512-526.
- Zaehle S., et al., 2007. Projected changes in terrestrial carbon storage in Europe under climate and land - use change 1990-2100; *Ecosystems* 10:380-401